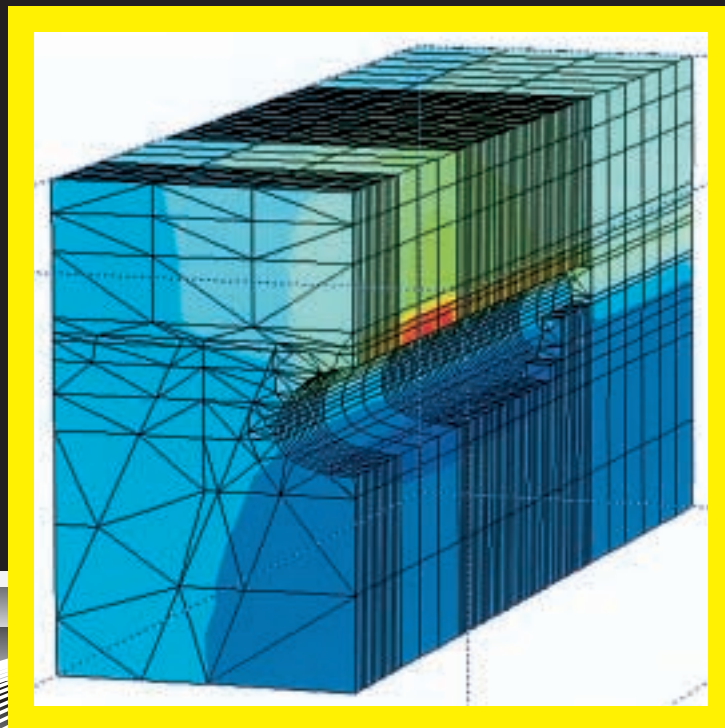


# Tunnel

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 CONSTRUCTION (DEVELOPMENT, RESEARCH, DESIGN, REALIZATION)*



**VÁŽENÍ ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,**

Je mi velkou ctí i potěšením, že v době, kdy naše společnost Stavební geologie GEOTECHNIKA završila 77 let své nepřetržité aktivity, se na Vás mohu obrátit prostřednictvím časopisu našeho národního komitétu Mezinárodní tunelářské asociace ITA/AITES.

Kdo i jen zpovzdálí sleduje vývoj našeho podniku, nemůže nevidět, že zejména během posledních 10 let prodělal značné změny. Firma, která se kdysi specializovala jen na geotechnické, hydrogeologické a inženýrskogeologické průzkumy, se změnila v moderní nezávislou konzultační společnost, jejímž hlavním cílem je poskytování širokého souboru odborných služeb v celém spektru stavebnictví a životního prostředí. Kromě specializovaných činností v oboru geotechniky dnes nabízíme i organizování a řízení projektů v oblasti inženýrských i jiných druhů staveb. Naše celkové finanční výkony se v roce 2002 přiblížily k hranici 300 milionů Kč, zrealizovaných zhruba 150 pracovníky.

Klíčovým segmentem naší činnosti jsou v současnosti právě podzemní stavby. Dokumentuje to skutečnost, že se v České republice bez naší účasti v loňském roce nestavěl ani jeden tunel. A že jich je dnes hodně. Jmenuji jen namátkou tunely pražského metra IVC1, železniční tunely Březno a Krasíkov, průzkumné štoly pro tunely Panenská, Valík, Dobrovského, nebo právě dokončený významný tunel na pražském silničním okruhu Mrázovka. Za zmínku též stojí náš příspěvek při likvidaci povodňových škod v zatopených podzemních úsecích tras metra A, B a C v Praze.

V této oblasti naše firma nelituje prostředků do technického rozvoje nových metod a do investic v oblasti moderní měřicí techniky. Kromě již dobře zaběhlého konvergenčního měření a komplexního souboru monitorovacích metod bych rád jako příklady uvedl georadarovou soupravu do vrtů, která může významným způsobem zpřesnit znalosti o geologickém prostředí jak v době průzkumných prací, tak i během ražeb, laserový scanner Cyrax, se kterým lze přesně určit polohu ostění tunelu nebo objemy nadvýmlohmů. V oblasti matematického modelování disponujeme nejmodernějšími zahraničními softwary, například posledním upgradem PLAXIS pro modelování ve 3D. Co se týče metodik, jsme dnes připraveni nově provádět rizikové analýzy včetně ekonomických porovnání různých variant projektových a technologických řešení výstavby tunelů.

Významnou událostí v životě naší firmy bylo, že se náš dosavadní majoritní akcionář, známá francouzská firma SIMECSOL, nedávno stal součástí jednoho z největších uskupení inženýrských a konzultačních firem na světě. Toto uskupení s názvem ARCADIS sídlící v Nizozemsku zaměstnává okolo 8500 specialistů a docílí roční objem výkonů okolo 800 milionů EUR. Poskytuje své služby v oblasti dopravní infrastruktury, stavebnictví, výstavby průmyslových komplexů, životního prostředí a telekomunikací. Jeho prostřednictvím máme my, a naším prostřednictvím i všichni naši klienti, přístup k know-how největších světových podzemních staveb.

Vážení kolegové, naším prvořadým cílem je poskytovat odborné služby tak, abychom co nejlépe uspokojili Vaše požadavky k úspěšnému projektování, řízení a výstavbě podzemních děl a abyste prostřednictvím našich služeb co nejvíce zvýšili efekt své vlastní činnosti i vlastní konkurenceschopnost. Věřím proto, že se i nadále budeme scházet na mnohých stavbách naší současnosti i nejbližší budoucnosti.

**DEAR READERS OF THE TUNEL MAGAZINE,**

*It is my great honor and pleasure, that in times when our company Stavební geologie GEOTECHNIKA has just celebrated 77 years of its consecutive activity, I am able to speak to you through this magazine issued by our national committee of ITA/AITES association.*

*Even those who follow the development of our company from longer distance must have noticed that it has gone through significant changes in the past 10 years. A company, which had previously specialized only in geotechnical, hydrogeological and engineering-geological exploration, has become a modern independent consultant, whose main aim is to provide a wide range of professional services within the entire field of civil engineering and environment. Beside specialized activities in the field of geotechnics, we are today also offering organization and management of projects in the field of engineering as well as other kinds of structures. Our total financial output, realized by app. 150 employees, has risen close to 300 million Kč in 2002.*

*Underground works are currently the very key element of our activity. It is proved by the fact, that there has been no single tunnel realized in the Czech republic in the last year, which would be without our participation. And there is obviously a good deal of them. I can randomly name tunnels of the Prague subway IV-C 1, railway tunnels Březno and Krasíkov, exploratory galleries for the tunnels Panenská, Valík and Dobrovského, or the just completed important tunnel Mrázovka on the Prague city ring road. Worth mentioning is also our contribution to the liquidation of material damages following the flooding of underground sections of the Prague subway lines A, B and C.*

*As for this field, our company does not regret the investments into technical development of new methods and modern measuring devices. Beside the already well proved convergence measurement and a complex set of monitoring methods, I would like to point out a georadar set for bores, which can significantly improve the knowledge about geological environment both during the times of exploratory works and the excavation proper, the laser system Cyrax, which can accurately determine the position of tunnel lining or volumes of overbreaks. In the field of mathematical modeling we possess the newest foreign software, for instance the last upgrade of PLAXIS for 3D modeling. As far as methodological procedures are concerned, we are now prepared to carry out risk assessments including economic comparisons of various alternatives of designing and technological solutions of tunnels.*

*In a recent event, significant for life of our company, our majority shareholder, renowned French company SIMECOL, has become part of one of the largest groups of engineering and consulting firms in the world. This group called ARCADIS with the headquarters in the Netherlands employs over 8500 specialists and generates an annual output worth 800 million Euro. It provides services in the fields of traffic infrastructure, civil engineering, constructions of industrial complexes, environment and telecommunications. Through this group we have, and through us our clients do have, an access to know-how from the largest underground structures in the world.*

*Dear colleagues, it is our primary goal to provide specialized services in order to fully satisfy your needs to design, manage and construct underground structures, so that through them you would be able to maximize the effectiveness of your own activity as well as your competitiveness. I therefore believe that we will still be meeting at numerous projects of our present time as well as at those soon to come.*

**Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, Csc.**

předseda představenstva a ředitel společnosti, Stavební geologie – Geotechnika, a. s.  
CEO and head of the board of directors

## KOMPLEXNÍ APLIKACE GEOTECHNICKÝCH METOD PŘI RAŽBĚ JEDNOLODNÍ STANICE METRA KOBYLISY

### COMPREHENSIVE APPLICATION OF GEOTECHNICAL METHODS TO THE EXCAVATION OF THE KOBYLISY ONE-VAULT METRO STATION

ING. RADKO BUCEK, PhD., ING. KAREL KOLESA, DOC. ING. ALEXANDR ROZSYPAL, CSc., ING. OTAKAR VRBA  
STAVEBNÍ GEOLOGIE – GEOTECHNIKA, a. s.

#### ÚVOD

V rámci 1. etapy výstavby IV. provozního úseku trasy C pražského metra byla uskutečněna stavba jednohodní stanice Kobylisy. Staniční kaverna velkých rozměrů byla vyražena v síti pražského metra poprvé. Bezespору vytvoří novou, velmi zajímavou podzemní dominantu, kterou ocení nejen odborná veřejnost, ale i uživatelé. Stanice je umístěna v centru Kobylis, v území s relativně hustou povrchovou zástavbou, s řadou významných inženýrských sítí a komunikací. Stavba stanice byla realizována ve složitých geologických poměrech a nepříznivých geotechnických podmínkách. Ražba kaverny velkých rozměrů si proto vyžádala komplexní a rozsáhlé využití většiny dnes dostupných geotechnických metod a měření.

#### HLAVNÍ ÚDAJE O JEDNOLODNÍ STANICI

Celková délka stanice:	148 m
Celková plocha hrubého výrubu:	220 m <sup>2</sup>
Množství vytěžené horniny v rostlém stavu:	32 560 m <sup>3</sup>
Výška výrubu:	13,8 m
Šířka výrubu:	21,2 m
Mocnost nadloží:	22,0 ± 1 m

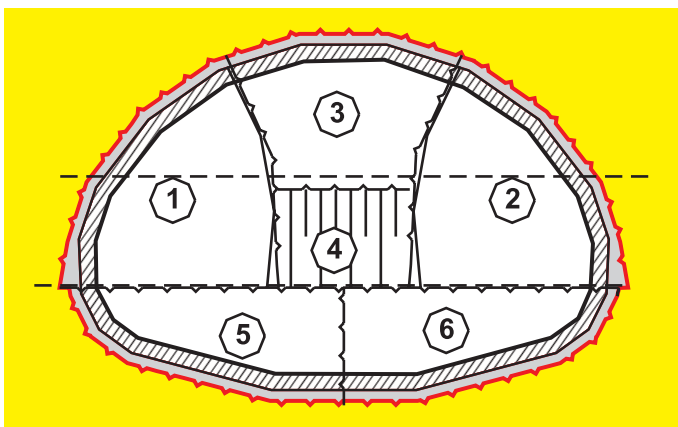
#### VÝČET POUŽITÝCH GEOTECHNICKÝCH METOD

V průběhu přípravy stavby, projektování i vlastní ražby kaverny stanice realizovala specializovaná geotechnická firma následující činnosti:

- inženýrskogeologické a geotechnické průzkumné práce
- spolupráci při zpracování projektové dokumentace
- vypracování realizačního projektu komplexního geomonitoringu
- matematické modelování reakce horninového masivu na ražbu
- trvalé geotechnické sledování výrubů se zařizováním do technologických tříd NRTM
- komplexní geotechnický monitoring včetně centrální evidence všech dat
- geodetické zaměření skutečného stavu primárního ostění
- geotechnickou asistenci a konzultace

#### POPIS RAŽBY KAVERNY

Protože šlo o ražbu velké podzemní kaverny ve městě, kde v nadloží probíhal intenzivní provoz na významných komunikacích a nad kavernou se nacházely



Obr. 1 Schematické znázornění postupu ražby – členění výrubu  
Fig. 1 Schematic representation of the excavation sequence

#### INTRODUCTION

The construction of the one-vault station Kobylisy has been carried out within the framework of the Phase 1 of the operational section IV of the Prague Metro line C (the IVC1 line). The large station cavern has been excavated for the first time in the Prague metro network. It will undisputedly become a new and very interesting underground dominant appreciated not only by the professional public but also by passengers. The station is located in the centre of the Kobylisy district, within a relatively densely developed area with many major utilities and roads. The station has been built in complex geology and unfavourable geotechnical conditions. This is why the large cavern excavation required comprehensive and extensive application of most of the currently available geotechnical methods and measurements.

#### MAIN DATA ON THE ONE-VAULT STATION

Total station length:	148 m
Excavated cross section	220 m <sup>2</sup>
Natural rock excavation volume	32,560 m <sup>3</sup>
Excavation clearance	13.8 m
Excavation width	21.2 m
Overburden depth	22.0 ± 1 m

#### THE LIST OF GEOTECHNICAL METHODS APPLIED

A specialist geotechnical company carried out the following activities in the phases of the station construction planning, designing and the cavern excavation:

- engineering-geological and geotechnical investigation
- cooperation in elaboration of the design documents
- elaboration of a detailed design for the comprehensive geomonitoring
- mathematical modelling of the rock response to the excavation
- continual geotechnical monitoring of headings and determination of the NATM technological classes
- comprehensive geotechnical monitoring inclusive of a central data logging
- geodetic survey of the actual condition of the primary liner
- geotechnical assistance and consulting

#### DESCRIPTION OF THE CAVERN EXCAVATION

Because the large cavern was to be excavated in a city with an intensive traffic on major roads and relatively dense older community and residential development with utilities found above the cavern, the excavation method was selected which would restrict deformations of the excavation and the surrounding rock maximally and minimise the ground surface settlement. For that reason the Kobylisy one-vault station was excavated by the NATM technique, with both horizontal and vertical sequencing. The observation method principle was applied to this work, with a relatively wide scope of measurements of the deformational response of the rock mass to the excavation. The selection of the excavation sequence was carried out on the basis of a geomechanical model of the rock mass, which was developed on the basis of a comprehensive assessment of the geotechnical investigation results. The geomechanical model was subjected to a confrontation with a 3D mathematical model. Subsequently it was adjusted in the course of the cavern excavation according to the results of the measurement of the actual rock mass behaviour.

First, the station excavation was divided vertically to 2 partial sidewall drifts with gothic vaults. The drifts were 7.2m wide at the working bottom level. Then the 6.8m wide central part was excavated. The lower part of the station cross section was excavated and the invert closed step by step subsequently, with the rounds 2.5 to 10m long. The excavation took place in the NATM technological classes 4 and 5a. The excavation sequence is shown in Fig. 1 and 2.

#### ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS

Engineering-geological and geotechnical conditions are very complicated in the given location. Moreover, they differ significantly from the conditions



poměrně hustá starší obytná a občanská zástavba a řada inženýrských sítí, byl zvolen takový způsob ražby, aby se maximálně omezily deformace výrubu a přilehlého horninového prostředí, a tím se minimalizovaly poklesy terénu. Jednotlivé stanice Kobylisy byla proto vyražena technologií NRTM, s členěním výrubu jak vertikálním, tak horizontálním. Přitom byl využit princip observační metody s poměrně velkým rozsahem měření deformační reakce horninového masivu na ražbu. Volba postupu ražby byla provedena na základě geomechanického modelu dotčeného horninového masivu, který byl vytvořen na základě komplexního zhodnocení geotechnického průzkumu. Geomechanický model se podrobil konfrontaci s matematickým modelem ve 3D a poté se během ražby kaverny upřesňoval podle výsledků měření skutečného chování horninového masivu. Ražba stanice byla nejprve vertikálně členěna na 2 boční dílčí výrubu s gotickou klenbou. Ty měly v úrovni pracovního dna šířku 7,2 m. Poté se provedl výrub střední části s šířkou 6,8 m. Spodní část staničního výrubu s postupným uzavíráním spodní klenby byla dobírána teprve následně, a to po příčných pasech s délkou záběru 2,5 až 10 m. Ražba probíhala v technologických třídách 4 a 5a dle NRTM. Schéma členění výrubu je patrné z obr. 1 a 2.

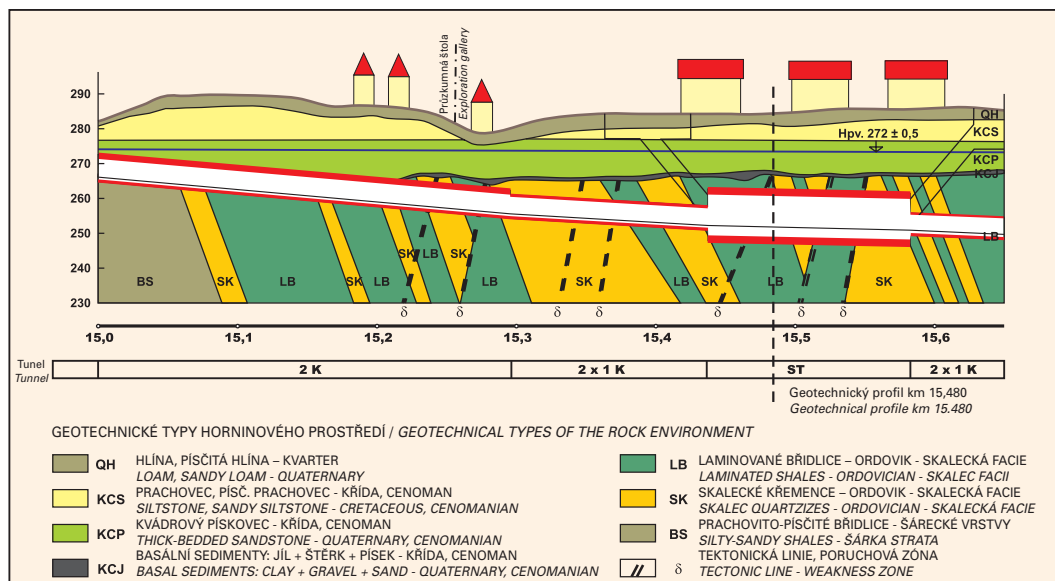
existing in other parts of Prague where the metro tunnels and other transit tunnels were built. The station excavation was performed in Ordovician rock types, in the Skalec facies of the Dobrotivý series of strata (the Skalec quartzites – geotechnical type SK, laminated shales – geotechnical type LB), just under the heavily saturated Cretaceous sandstone interface (geotechnical type KCP). A diagrammatic engineering-geological profile of the IV C1 metro line is shown in Fig. 3.

The rock environment is characterised by a complex geology, extraordinary inhomogeneity of the rock environment and significant heterogeneity of geotechnical properties (strength, stress-strain properties, shear strength along discontinuities, stability, saturation, permeability). Particularly unfavourable fact is the intensive fossil Pre-Cretaceous weathering of the facies of the Skalec quartzites with clayey shale interbeds up to a depth of 8 – 10 m, i.e. in the area of the tunnel excavation crown.

The intensive fossil weathering has affected primarily the strata of the Skalec quartzites (gt type SK) containing rhythmic alternations of shale interbeds 20 – 200mm thick decomposed to solid consistency clay. These interbeds create dangerous predisposed sliding surfaces if they are 50 – 100 mm thick (in SKZ



Obr. 2 Pohled na ražbu při vertikálním členění výrubu  
Fig. 2 Excavation at the vertical sequencing



Obr. 3 Přehledný inženýrskogeologický profil trasy metra IVC1 (úsek km 15,0 – 15,65)  
Fig. 3 Diagrammatic engineering-geological profile of the IVC1 metro line (section km 15.0 – 15.65)

## INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Inženýrskogeologické poměry a geotechnické podmínky v dané lokalitě jsou značně komplikované a navíc se výrazně odlišují od podmínek v ostatních částech Prahy, v nichž se dosud tunely metra a dopravní tunely stavěly. Stanice je vyražena v ordovických horninách, ve skalecké facií dobrotivského souvrství (skalecké křemence – geotechnický typ SK, laminované břidlice – geotechnický typ LB) těsně pod rozhraním se silně zvodněnými křídovými pískovci (geotechnický typ KCP). Přehledný inženýrskogeologický profil trasou metra IV.C1 je znázorněn na obr. 3.

Horninové prostředí se vyznačuje složitou geologickou stavbou, mimořádnou nehomogenitou horninového prostředí a velkou heterogenitou geotechnických vlastností (pevnost, deformační vlastnosti, smyková pevnost na diskontinuitách, stabilita, zvodnění, propustnost). Mimořádně nepříznivou skutečností je intenzivní fosilní předkřídové zvětrání facií skaleckých křemenců s vložkami jílových břidlic do hloubky 8–10 m, a to v oblasti horní klenby tunelového výrubu.

Intenzivním fosilním zvětráním jsou postiženy zejména vrstvy skaleckých křemenců (gt typ SK), které obsahují rytmicky se opakující vložky břidlic o mocnosti 20–200 mm rozložených na jílu pevné konzistence a které vytvářejí při mocnosti větší než 50–100 mm nebezpečně predisponované smykové plochy (v gt typu SKZ, SKN). Naopak partie laminovaných břidlic (gt typ LB) mají výrazně příznivější geotechnické vlastnosti, neboť jsou do menší hloubky a méně intenzivně porušeny účinky fosilního zvětrávání. Partie geotechnického typu LB při sklonu vrstev  $70 \pm 5^\circ$  vytvářejí při tunelování příznivě subvertikální „zpevňující pilíře“ v horninovém masivu.

Příznivou skutečností je existence 10–12 m mocného subhorizontálního souvrství cenomanských kvádrových pískovců (gt typ KCP), které v nadloží výrubu stanice vytvářejí de facto rigidní nosný element, a tak příznivě ovlivňují vývoj deformací nad tunelovým výrubem a na povrchu terénu. Naopak nepříznivou okolností je silné zvodnění masivu kvádrových pískovců – jedná se o prostředí s velkou puklinovou propustností a hydrostatickým tlakem vůči stropu výrubu 0,1–0,15 MPa.

Důležitým prvkem horninového masivu je gt typ KCJ – jedná se o subhorizontální bazální křídové sedimenty charakteru zemin (jíl se štěrkem, písek se štěrkem). Jejich mocnost činí pouze 0,5–1,5 m (výjimečně až 2,5 m), ale jedná se o nejslabší prvek horninového masivu. Místní poměry jsou znázorněny na obrázcích 3 a 4.

Při ražbě dvoukolejných tunelů, průzkumné štoly, eskalátorových tunelů a výtahové šachty se dílčí iniciální přítoky na přední výrubu pohybovaly v rozpětí 1–5 l/s a celkové přítoky vody z těchto výrubů v rozpětí 15–30 l/s. Před započítáním ražby vlastní stanice se podařilo čerpáním vody z výše uvedených objektů výrazně snížit hladinu podzemní vody v nadloží stanice, a tím snížit hydrostatický tlak podzemní vody, a proto přítoky vody do dílčích výrubů při ražbě stanice byly již výrazně menší. Nejprve při ražbě levého bočního výrubu činily 1–5 l/s, ale při ražbě dalších dílčích výrubů stanice již byly přítoky vody malé (< 0,5 l/s).

and SKN gt type). On the contrary, the geotechnical properties of the parts of the laminated shales (gt type LB) are much more favourable as they are deteriorated by the fossil weathering to lower depth and less intensively. The parts of the geotechnical type LB create sub-vertical “pillar supports” in the rock mass favourable for the excavation process if the dip of the layers is  $70 \pm 5^\circ$ .

The existence of a 10–12 m thick sub-horizontal series of strata of the Cenomanian quartzites (gt type KCP) is favourable. Those strata create de facto a rigid load-bearing element above the station excavation. It affects the development of deformations above the opening and at the surface level favourably. Conversely, the heavy saturation of the thick-bedded sandstone is an unfavourable condition. This environment features a high level of fissure-type permeability and hydrostatic head of 0.1–0.15 MPa at the excavation crown level.

An important element of the rock mass is the gt type KCJ, sub-horizontal basal Cretaceous sediments having a character of soils (clay with gravel, sand with gravel). They are 0.5–1.5 m thick only (exceptionally up to 2.5 m), but they are the weakest element of the rock mass. Local conditions are shown in Fig. 3 and 4.

Partial initial inflows at the heading faces during the excavation of the double-track tunnels, exploration gallery, escalator tunnels and lift shaft varied between 1–5 litre/s, and aggregated inflows from those faces between 15–30 litre/s. The water table existing above the station crown was lowered successfully by pumping water from the above-mentioned structures. This action lowered the hydrostatic head significantly. As a result the water inflows to the partial heading faces during the station excavation were much lower. At the beginning, during the excavation of the left sidewall drift, the inflow amounted to 1–5 litre/s, but the following partial excavations experienced low water inflows (< 0.5 litre/s).

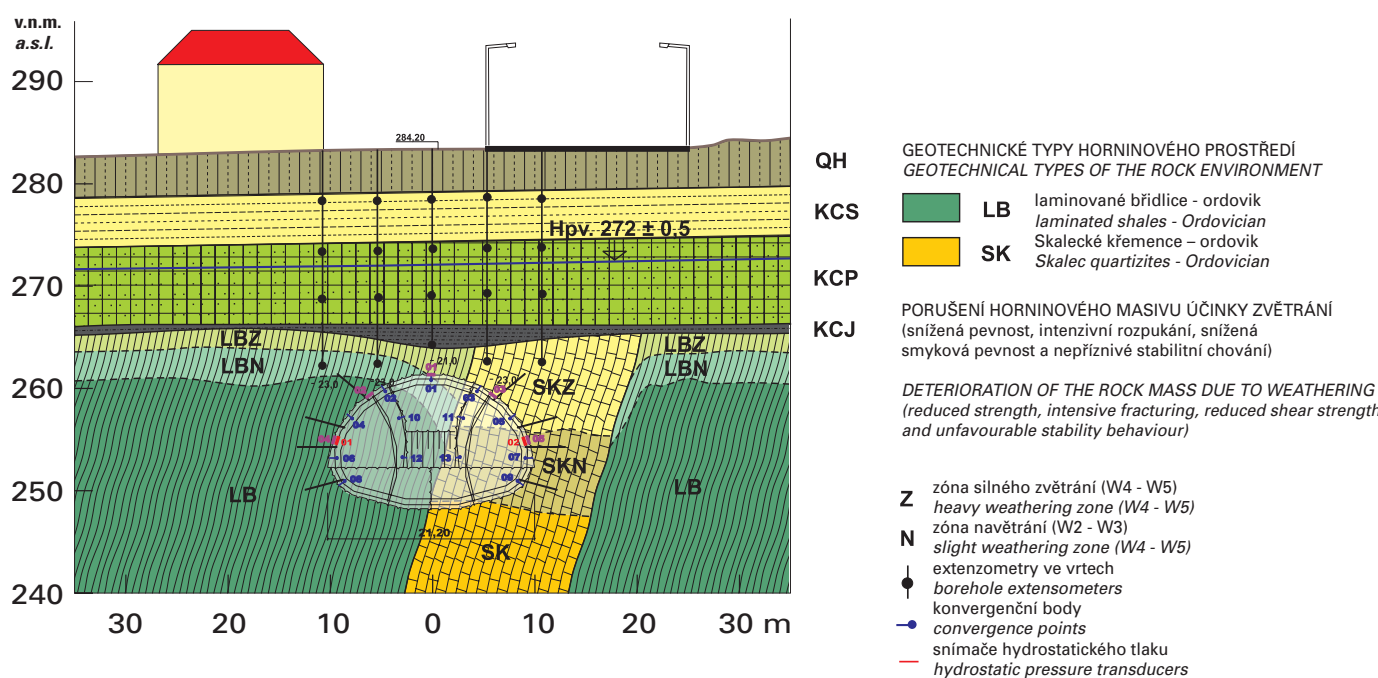
## GEOMONITORING

An inseparable part of the NATM technique of construction of mined underground structures, which takes the advantage of the interplay between the rock mass and primary lining, is a set of measurements and monitoring of the stress-strain behaviour of this combined load-bearing system.

The aim of the set of measurements and the comprehensive geomonitoring, which was applied during the excavation, was gathering data allowing economic and safe excavation of the cavern, assessment of its stability and impact on surrounding surface structures and utilities. Design assumptions were also continually confronted with the reality. The technological procedure for the excavation and particular design of the primary lining were also modified on the basis of the geomonitoring results.

The following measurements and monitoring results were used for the above-mentioned purpose:

- continual geological and geotechnical monitoring of quality of the rock at the excavation face; determination of the NATM technological classes
- convergence measurement for the monitoring of the primary lining stability
- extensometer measurements for monitoring of the rock mass deformations
- measurements of the loading on the primary lining by the rock pressure



Obr. 4 Příčný inženýrskogeologický profil v místě stanice  
Fig. 4 Engineering-geological profile of the station

**GEOMONITORING**

Nedílnou součástí technologie výstavby ražených podzemních objektů metodou NRTM, která využívá spolupůsobení horninového masivu s primárním ostěním, je soubor měření a sledování přetvárného a napjatostního chování celého tohoto nosného systému.

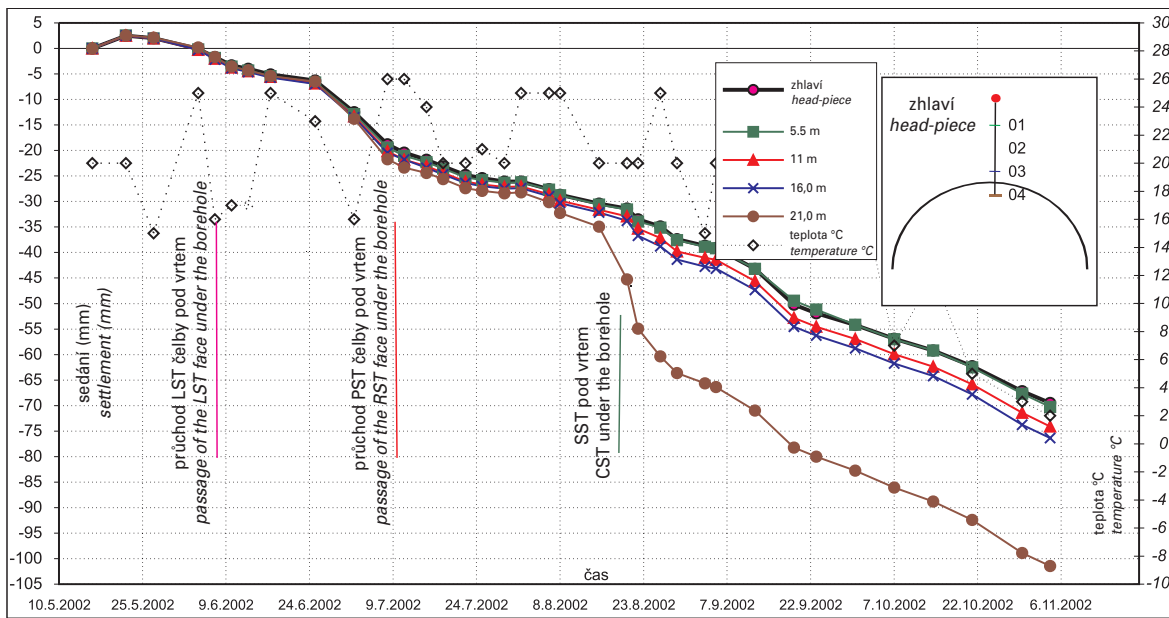
Cílem souboru měření a sledování komplexního geomonitoringu, který byl při ražbě aplikován, bylo tedy získání podkladů, které umožnily ekonomické a přitom bezpečně vyražení kaverny, posouzení její stability a jejího vlivu na okolní povrchovou zástavbu a inženýrské sítě. Rovněž byly průběžně ověřovány předpoklady projektu se skutečností. Na základě výsledků geomonitoringu byl upraven technologický postup ražeb a konkrétní provedení primárního ostění.

**Pro tento účel byla použita následující měření a sledování:**

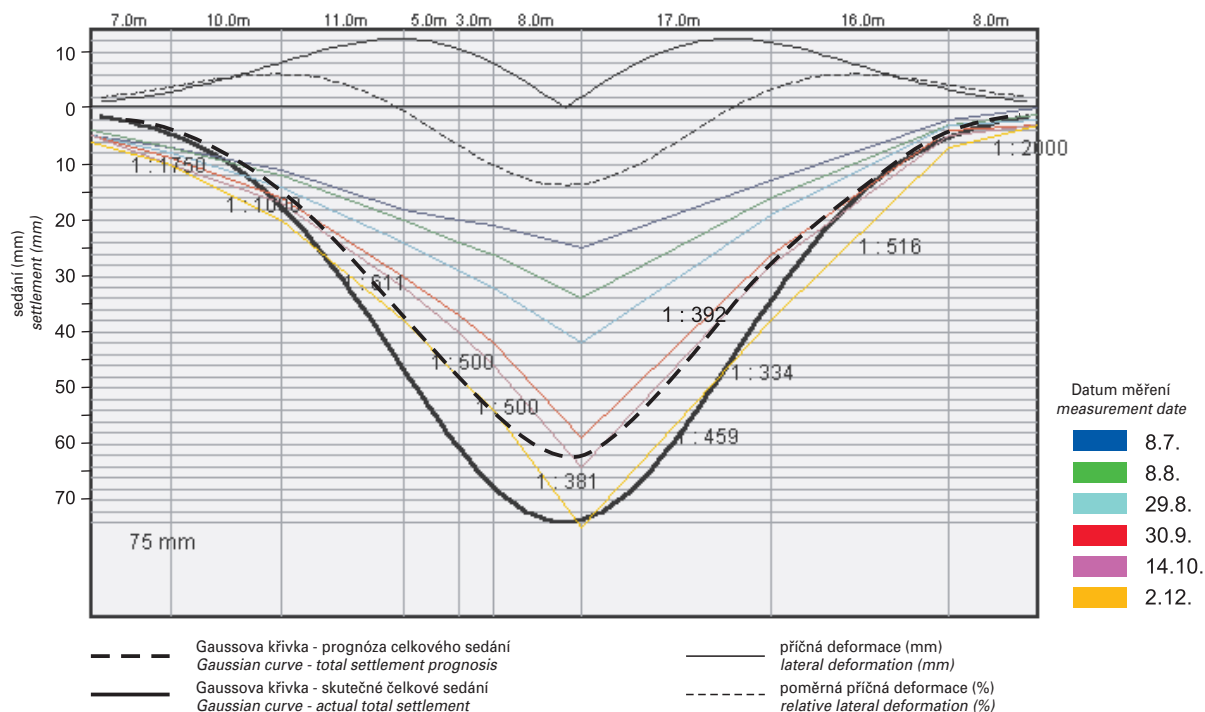
- průběžné geologické a geotechnické sledování kvality horniny na čele výrubu se zatřídováním do technologických tříd NRTM;

- measurements of the hydrostatic pressure on the secondary lining
- seismic and acoustic measurements for the monitoring of the effects of blasting
- geodetic monitoring of the ground surface and surface structures settlement
- monitoring of tilting of buildings (surface inclinometry)
- visual monitoring of the condition of buildings; checking of discal crackmeters
- hydrogeological monitoring of the water table in neighbouring wells and observation boreholes
- measurement of ground water inflows to the opening during the excavation

The measurement elements were arrayed in 2 complex cross sections - stations (see Fig. 4). The complex stations were 60m apart. Additional stations were established in the underground for convergence measurements only. Those convergence stations were 10m apart, and each consisted of 13 targets. An example of the assessment of the rock mass response to the excavation is shown in Fig. 5 (settlement measured by multi-level extensometers in vertical boreholes). Fig. 6 shows a comparison of the anticipated and actual time-settlement curves relating to the surface settlement (the Loss of Ground method). The results of the convergence measurements are shown in Fig. 7 and 8.



Obr. 5 Časový průběh sedání kotev ve víceúrovňovém extenzometrickém vrtem  
Fig. 5 Time history of subsidence of anchors in a multi-level extensometer borehole



Obr. 6 Srovnání skutečného a předpovězeného průběhu poklesů povrchu terénu v místě komplexního monitorovacího profilu  
Fig. 6 Comparison of actual and anticipated settlement of the surface at the complex monitoring profile



- konvergenční měření ke sledování deformací a stability primárního ostění;
- extenzometrická měření ke sledování deformací horninového prostředí;
- měření zatížení primární obezdvíky horninovým tlakem;
- měření hydrostatického tlaku na sekundární obezdvíku;
- seismická a akustická měření ke sledování účinků trhacích prací;
- geodetické sledování deformací povrchu terénu i objektů povrchové zástavby;
- sledování náklonů objektů nadzemní zástavby (povrchová inklinometrie);
- vizuální sledování stavu objektů zástavby s kontrolou osazených terčových měřidel trhlín;
- hydrogeologické sledování hladiny podzemní vody v okolních studních a pozorovacích vrtech;
- měření přítoků podzemní vody do výrubu při ražbě.

Měřicí prvky byly uspořádány do 2 komplexních příčných profilů způsobem, který je zřejmý z obr. 4. Komplexní profily byly od sebe vzdáleny 60 m a byly doplněny profily v podzemí, ve kterých bylo pouze konvergenční měření. Tyto konvergenční profily byly od sebe vzdáleny 10 m a v každém bylo 13 bodů.

Příklad vyhodnocení reakce horninového masivu na ražbu je na obr. 5, kde jsou znázorněna sedání měřená víceúrovňovými extenzometry ve svislých vrtech. Na obr. 6 je znázorněno porovnání předpokládaného a skutečného průběhu poklesu povrchu terénu za použití metody Loss of Ground. Na obrázcích 7 a 8 jsou znázorněny výsledky konvergenčního měření.

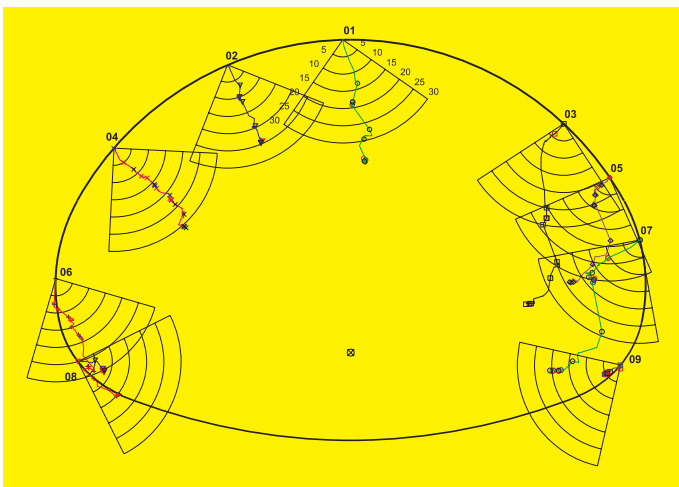
Maximální naměřené hodnoty posunů konvergenčních bodů dosahovaly hodnoty cca 50–60 mm. Přibližně do jednoho měsíce po průchodu jednotlivých dílčích výrubů docházelo k ustálení deformací. K největšímu nárůstu deformací, prakticky o 100 % i více, docházelo při dobírce dna pro spodní klenbu. Po uzavření spodní klenby se deformace ustálily do jednoho týdne až deseti dnů.

Z grafu celkových sedání, zjišťovaných v extenzometrických vrtech v jednotlivých sledovaných úrovních včetně terénu, jsou patrné jak mírné nadzdvížení prostředí v předpolí postupujícího výrubu kaverny, tak i pozvolné poklesy, přibližně shodné ve všech úrovních při průchodu obou bočních výrubů. Teprve při průchodu středního staničního výrubu docházelo k diferenciaci vertikálních deformací na nejnižší sledované úrovni. Z toho bylo možné usuzovat na velikost a hranici zvýšených deformací a na koncentraci vyšších tlakových napětí v hornině.

Extenzometr, umístěný v ose stanice, vykázal na nejnižší sledované úrovni v hloubce 21 m (cca 1 m nad výrubem) celkový pokles o 105 mm. Z výsledků extenzometrického měření lze rovněž usuzovat na pozitivní úlohu existence souvrství kvádrových pískovců v nadloží staniční kaverny a jeho tlumícího účinku vůči indukovaným deformacím na povrch terénu a nadzemní zástavbu. Srovnáním naměřených deformací v extenzometrických vrtech s výsledky konvergenčního měření v komplexních profilech lze usuzovat i na velikost tzv. předkonvergence. Ta v tomto případě dosahovala až 50 %. S ohledem na stavební práce na povrchu terénu v místě extenzometru nebylo bohužel možno sledovat vyvolané deformace až do jejich konečného ustálení.

Z celkových sedání na povrchu terénu, které dosáhly maximálně 75 mm, při sklonu poklesové kotliny 1 : 330, lze 40 % přisoudit vlivu ražby obou bočních výrubů, 35 % postupu středního staničního výrubu a zbývajících 25 % dobírce dna pro spodní klenbu.

Pro operativní práci se změřenými daty byl vytvořen speciální programový soubor pro centrální evidenci všech dat. Byla prováděna správa databází ze všech měření a komplexní vyhodnocování výsledků měření s on-line výstupy pro investora, zhotovitele stavby a projektanta. V případě dosažení některého z předem stanovených varovných stavů byli všichni účastníci výstavby okamžitě informováni a byla přijímána předem připravená opatření. Schéma databáze a toku dat je na obrázku 9.



Obr. 7 Vektory deformace ostění vyhodnoceny z konvergenčního měření  
Fig. 7 Lining deformation vectors determined on the basis of the convergence measurement

The maximum measured values of the displacement of convergence points amounted to about 50 – 60 mm. The deformations settled approximately one month after the individual headings passed the relevant station. The highest increase in the deformations, virtually by 100% or more, was measured at the invert excavation. The deformations settled within a week or ten days after the completion of lining by casting the invert.

The chart of the total settlement measured in extensometer boreholes at particular monitored levels (including the surface level) shows both a moderate heave of the environment at the front zone ahead of the progressing cavern excavation and gradual subsidence (approximately identical at all levels during the passage of the two sidewall drifts). It was during the passage of the central station section that a differentiation of the vertical displacements occurred at the lowest monitored level. Based on this fact, deduction of the magnitude and limits of the increased deformations could be made and a concentration of higher compression stresses could be recognised.

The extensometer installed on the station centreline showed a total subsidence of 105mm at the lowest monitored level at a depth of 21m (about 1m above the excavation crown). It can also be guessed on the basis of the extensometer measurement results that the role of the series of strata of the thick-bedded sandstones above the station cavern was positive and that it reduced the effect of induced deformations on the ground surface and existing buildings. The magnitude of the so called pre-convergence can be deduced by comparing the deformation measurements carried out in the extensometer boreholes and convergence measurements taken at the complex stations. In the given case the pre-convergence reached up to 50%. Unfortunately, the monitoring of the deformations until the final settling was impossible because of the construction activities taking place at surface level, at the extensometer location.

Out of the total settlements at the surface level (maximum 75 mm), at the gradient of the settlement trough of 1 : 330, it is possible to allocate 40% to the influence of the excavation of the two sidewall drifts, 35% to the advancing central station excavation, and remaining 25% to the invert excavation.

Special software was developed for the operative work with the measured data and central recording of the data. The databases from all measurements were maintained and the measurement results interpreted comprehensively. Outputs were submitted to the client, contractor and designer. All construction parties were informed immediately when any of the pre-determined warning levels were reached, and in advance prepared measures were adopted. The scheme of the database and the data flow are shown in Fig. 9.

#### MATHEMATICAL MODELLING OF THE ROCK RESPONSE TO THE EXCAVATION

The mathematical modelling by means of the finite element method (FEM) was one of methods used for the comprehensive geotechnical assessment of the excavation procedure and proposal on the cavern lining design.

With respect to the fact that most problems to be assessed by the mathematical modelling methods had a typical three-dimensional character, the possibility to use a simplified 2D model was excluded. For that reason special software FEM Plaxis – Tunnel 3D allowing three-dimensional solution was used.

The comprehensive assessment contained verification of basic stress-strain and shear parameters of the rock environment identified by the investigation, assessment of stability of the rock pillar at the end of the station and stability and deformations of the rock mass around the station during the excavation.

The FEM calculation for the one-vault station was carried out before the excavation beginning with the aim of confirming the basic design assumptions. The design assumed that both the bearing capacity of the temporary pillars during the station excavation and permanent pillars at the station beginning is sufficient and that the layer of sandstones above the station will be capable of carrying its own weight and the weight of the overburden. Another question the calculation looked an answer for was the degree of stability of the quartzite and laminated shales strata forming the station excavation roof. This question was crucial considering the dimensions of the station. No back analysis was required in the course of the excavation. The initial support was modified continually according to the measurement results of the actual behaviour of the rock during the excavation.

#### The calculation was divided to four steps:

- assessment of the stability of the pillar at the beginning of the cavern;
- assessment of the deformational response of the sandstone layer above the cavern for various stress-strain properties of the sandstones
- assessment of stability of the neighbourhood of the station top heading - mainly in quartzites
- assessment of stability of the neighbourhood of the station top heading - mainly in laminated shales (see Fig. 10)
- Vertical displacement at the face of the sidewall drifts are shown in Fig. 12 and vertical displacements for the entire station excavation in Fig. 13.





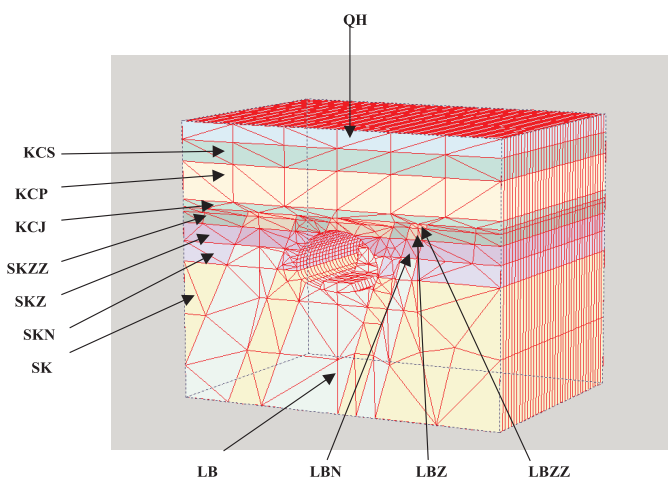
**Výpočet byl rozdělen do čtyř kroků:**

- posouzení stability pilíře v ústí kaverny a posouzení deformační odezvy vrstvy pískovců v nadloží kaverny při různých deformačních vlastnostech pískovců;
- posouzení stability bezprostředního okolí stropu kaloty stanice – převážně v křemencích;
- posouzení stability bezprostředního okolí stropu kaloty stanice – převážně v laminovaných břidlicích (viz. obr. 10).
- svislé posuny na líci bočních výrubů jsou vyznačeny na obr. 12 a svislé posuny pro celý výrub stanice na obr. 13.

**Závěry vyplývající z těchto studií byly následující:**

- stabilita pilíře mezi traťovými tunely v ústí stanice je vyhovující. Za předpokladu, že by horizontální deformace konvergenčních bodů přesáhly během ražby 35 mm, bylo doporučeno celý pilíř stáhnout kotvami z obou traťových tunelů alespoň v délce 25 m od ústí stanice;
- pískovce nad stanicí vyhověly požadovanému zatížení pro všechny počítané případy;
- bezprostřední strop stanice při ražbě jak v křemencích, tak i v laminovaných břidlicích projevoval v modelu tendenci nevytvářet klenbu nad tunelem, ale namísto toho dolehnout plnou vahou na ostění. Projektant proto musel vzít při návrhu ostění v úvahu skutečnost, že na ostění nedolehne pouze sloupec horniny přímo nad tunelem, ale ve skutečnosti bude ostění zatíženo blokem horniny omezeným šikmými plochami probíhajícími boky tunelu a zatížení bude téměř dvojnásobné v porovnání s vahou sloupce nad obrysem tunelu;
- ostění kaverny může být na druhé straně excentricky zatěžováno bloky horniny o tíze 50 t, resp. 1200 t.

Bylo konstatováno, že za této situace by bylo velmi riskantní spolehnout se pouze na strukturální pevnost skořepiny ze stříkaného betonu. Na základě matematického modelování bylo proto doporučeno zpevnit nadloží pomocí kotev. Všechny tyto výsledky modelování vzal geotechnický konzultant v úvahu při formulaci doporučení úprav postupu ražeb kaverny.



Obr. 10 Matematický model pro výpočet 3 D – MKP pro tunel převážně v břidlicích

Fig. 10 Mathematical model for the 3D-FEM calculation – for the tunnel mostly in shales

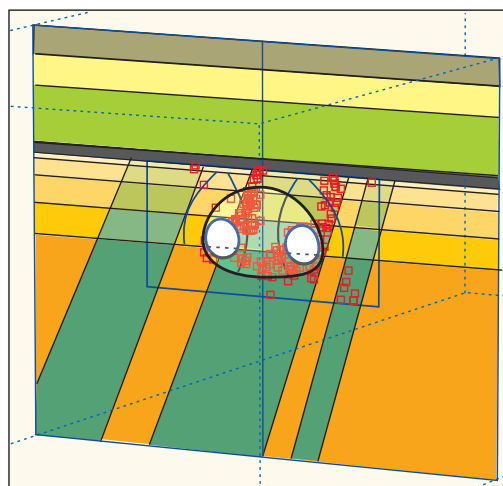
**LASER SCANNING OF THE ACTUAL CONDITION OF THE PRIMARY LINING**

Precise geodetic survey of the actual shape of the completed primary lining of the one-vault station. was carried out after the cavern excavation. Cyrax 2500 laser scanner was used for this survey (see Fig. 14). The scanner allows very quick and efficient collection of exact and comprehensive set of information on the geometry of the underground structure in individual construction phases. The overall length of the surveyed section was of 148m, which is the length of the entire one-vault station.

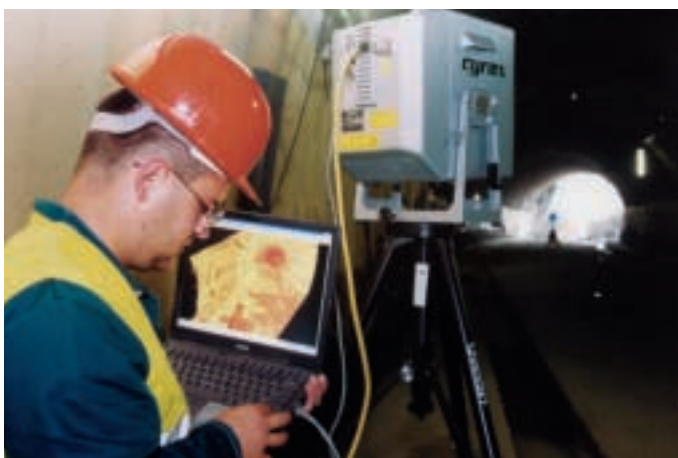
The purpose of the precise survey of the actual condition was to identify deviations of the actual condition of the primary lining from the design, or to locate places requiring removal of concrete reaching beyond the line of the designed primary lining. A map of deviations of the lining shape from the designed profile was elaborated using special modules of the Atlas software. The map is in a form of a flattened out surface of a tunnel ring (see Fig. 15). The deviations in the primary lining surface shape from the design were visualised by means of a colour range. Tunnel cross sections were drawn at prescribed locations, again using colours to distinguish the deviations (see Fig. 16).

**CONCLUSION**

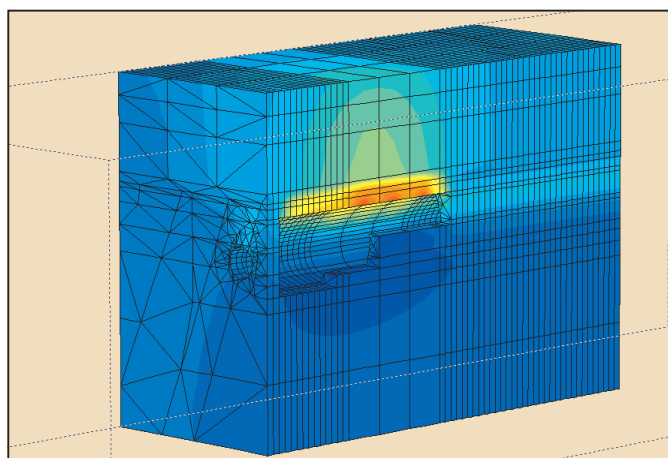
The comprehensive application of geotechnical methods contributed significantly to the success of the excavation of the large cavern for the one-vault metro station Kobylysy in complex geotechnical conditions. The geomechanical model of the geological environment allowed the definition of sensitive spots which the design could respond to timely and optimally. The combination of the comprehensive geomonitoring and mathematical modelling allowed, through the observation method, operative and effective responses to the rock mass deformations while respecting



Obr. 11 Plastické oblasti v masivu  
Fig. 11 Plastic regions in the massif



Obr. 14 Měřicí souprava Cyrax 2500  
Fig. 14 Cyrax 500 measurement set



Obr. 13 Podélný řez v ose stanice – svislé posuny  
Fig. 13 Longitudinal section through the station centreline – vertical displacements

**LASEROVÉ SKENOVÁNÍ SKUTEČNÉHO STAVU PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ**

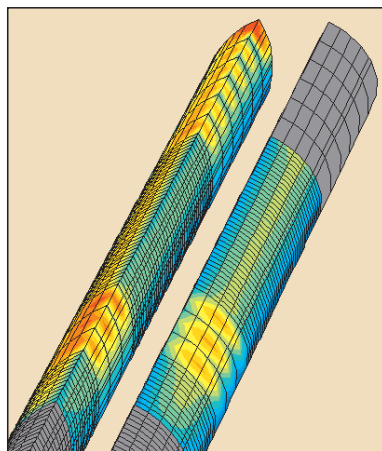
Po vyražení kaverny bylo provedeno přesné geodetické zaměření skutečného tvaru dokončeného primárního ostění jednolodní stanice. Pro zaměření byl použit laserový skener Cyrax 2500 (viz. obr. 14), který umožňuje velmi rychlé a efektivní získání přesných a komplexních informací o geometrii podzemního díla v jednotlivých etapách výstavby. Celková délka zaměřovaného úseku byla 148 m, tedy celá jednolodní stanice.

Přesné zaměření skutečného stavu mělo za cíl zjistit odchylky skutečného stavu primárního ostění od projektu, případně určit místa vyžadující odstranění betonů, přesahujících projektovaný profil primárního ostění. Pomocí speciálních modulů softwaru Atlas pak byla vytvořena mapa odchylek tvaru ostění od projektovaného profilu jako rozvinutý povrch tunelového pásu viz obr. 15. Odchylky tvaru povrchu primárního ostění od projektu byly znázorněny pomocí barevné škály. V předepsaných místech byly vykresleny příčné profily tunelu, opět s barevným zobrazením odchylek, viz. obr. 16.

**ZÁVĚR**

Komplexní aplikace geotechnických metod byla významným příspěvkem k úspěšnému vyražení velkorozměrové kaverny jednolodní stanice metra Kobylisy ve složitých geotechnických podmínkách. Geomechanický model geologického prostředí umožnil definovat citlivá místa, na která mohl projekt včas optimálně reagovat. Kombinace komplexního geomonitoringu a matematického modelování umožnila prostřednictvím observační metody během ražby operativně a efektivně reagovat na deformace horninového masivu a respektovat ekonomické hledisko. Použití laserového skeneru pak umožnilo velmi přesné „popsání“ odchylek tvaru primárního ostění od projektu.

Lze bez nadsázky konstatovat, že v těsné spolupráci všech partnerů výstavby (zhotovitel Metrostav, technický dozor stavby IDS, projektant Metroprojekt, geomonitoring SG – Geotechnika) se podařilo úspěšně vyrazit a dokončit hrubou stavbu jednolodní stanice a okolních tunelů metra bez nežádoucích problémů a bez významného dotčení povrchové zástavby.

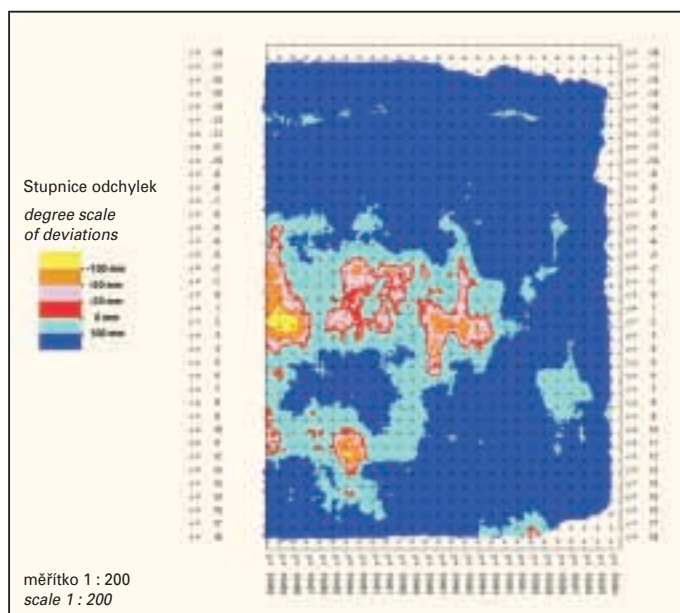


Obr. 12 Svislé posuny na líci bočních výrubů  
Fig. 12 Vertical displacements on the intrados of the sidewall drifts

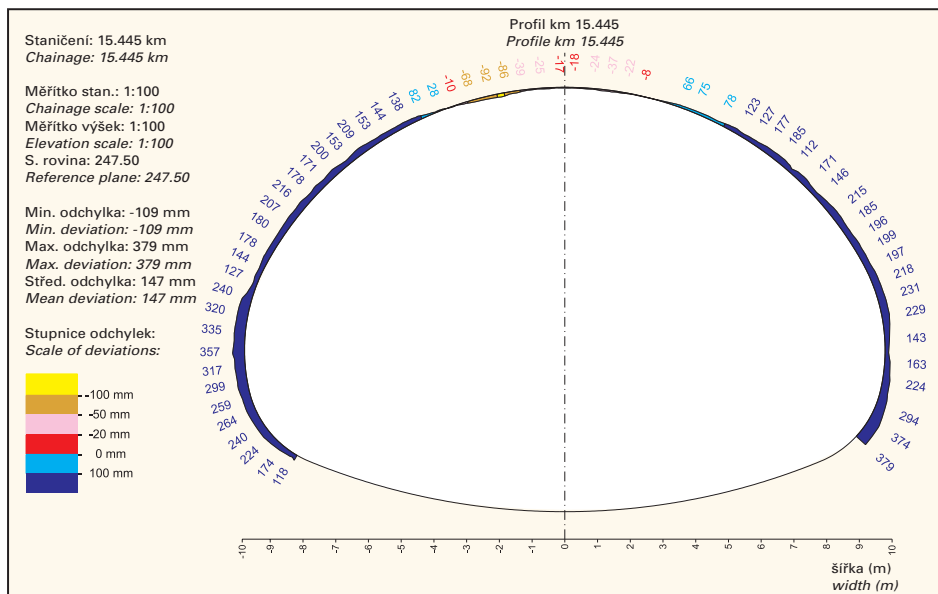
Obr. 16 Příčný profil stanice – odchylky skutečného tvaru ostění od projektu  
Fig. 16 Cross section of a station tunnel – deviations of the actual shape of lining in comparison with the designed one

economic aspects. The application of the laser scanner allowed very precise description of the deviations of the shape of the primary lining from the design.

It is possible to state without any exaggeration that the one-vault station and neighbouring running tunnels were excavated and the fabric constructed successfully without undesirable problems and without any significant impact on the surface development.



Obr. 15 Rozvinutá část zaměřeného ostění staničního tunelu  
Fig. 15 Flattened part of a measured up station tunnel lining



## RAŽBA PRVNÍ JEDNOKLENBOVÉ STANICE NA TRASE IVC1 PRAŽSKÉHO METRA

### EXCAVATION OF THE FIRST ONE-VAULT STATION ON THE IVC1 LINE OF THE PRAGUE METRO

ING. MILOSLAV ZELENKA – METROSTAV, a. s.

#### ÚVOD

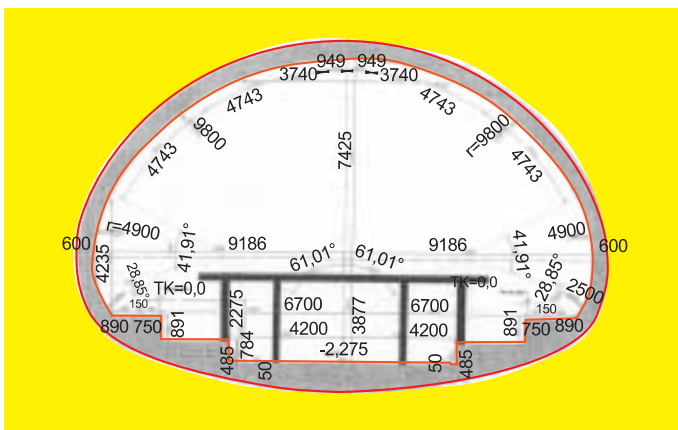
V současné době je realizováno prodloužení pražského metra výstavbou 1. části IV. provozního úseku trasy C směrem k severním sídlištním celkům Kobylisům, Ládví a Prosek. Celková délka právě budované části trasy IVC1 je 3,9 km a její součástí jsou i dvě stanice – hloubená stanice Ládví a ražená jednoklenbová stanice Kobylisy. Uvedení do provozu se předpokládá v polovině roku 2004.

Výškové vedení trasy začíná za odstavnými kolejemi doposud konečné stanice trasy C Nádraží Holešovice, kde přechází do maximálního klesání, aby bylo možno tunelem podejít řečiště Vltavy. Pod řekou se spád tratového tunelu obrací a přechází naopak do maximálního stoupání s ohledem na nutnost překonání 112 m celkového výškového rozdílu do stanice Ládví.

Od odstavných kolejí stanice Nádraží Holešovice na levém břehu Vltavy je trasa vedena v krátkém hloubeném tunelu, který navazuje na dva železobetonové tubusy metra vysunutě ze stavební jámy na pravém břehu řeky. Zhruba 400 m od trojského břehu řeky (za ulicí Povltavská) končí hloubený úsek trasy, neboť terén začíná příkře stoupat. Právě zde začíná ražená část trasy tvořená dvoukolejným tunelem. V místě křížení s ulicí Trojská na něj navazuje tunel realizovaný v otevřené stavební jámě. Zbývající část trasy je vedena v raženém dvoukolejném tunelu s výjimkou krátkých jednokolejných tunelů přilehlých ke stanici Kobylisy, aby mohlo být provozováno středové ostrovní nástupiště jednolodní stanice. Ražená část od portálu Povltavská až do hloubeného úseku před stanicí Ládví je dlouhá skoro 2700 metrů. Na trase byly uplatněny dvě novinky jak v oblasti návrhu, tak z hlediska stavebního postupu. V první řadě originální řešení vysouvaných tunelů blíže popsané v časopise Tunel 1/2002 na stranách 18 až 29. Druhou podzemní konstrukcí dosud neprováděnou na pražském metru je výstavba jednolodní stanice Kobylisy, jejíž projektovaná koncepce je popsána rovněž v čísle Tunel 1/2002 na stranách 30 až 33.

#### GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY RAŽENÉ STANICE KOBYLISY

Inženýrskogeologické poměry stanice byly zdokumentovány z archivních a nově provedených geologických sond. Upřesnění geologických podmínek bylo možné díky realizaci objektů přístupové štoly a šachty pro výtah určený pro osoby se sníženou pohyblivostí. Na návrh dodavatele byla pro přístup do trasy a stanice namísto těžní šachty zvolena úpadní přístupová štola ze staré zástavby v Kobylisích od křižovatky ulic Na pěšinách a Pod statky s využitím plochy starého dosluhujícího koupaliště. Štola, která má



Obr. 1 Příčný řez jednolodní stanicí

Fig. 1 Cross section through the one-vault station

#### INTRODUCTION

Currently the Prague Metro extension is carried out by the construction of the 1st part of the operational section IV of the line C towards northern suburbs of Kobylisy, Ládví and Prosek (see Fig. 1). The total length of the section IV C1 being under construction amounts to 3.9km. This section contains two stations, i.e. the Ládví cut-and-cover station and Kobylisy mined one-vault station. The commissioning is scheduled for mid-2004.

Regarding the vertical alignment, the line starts behind the stabling tracks of the till now terminal station on the line C, the Nádraží Holešovice Station, where the maximum down gradient starts in order to allow the tunnel to dip under the Vltava River bed. The gradient of the running tunnel reverses under the river, with a transition to the opposite extreme, i.e. maximum rising grade designed with respect to the necessity to overcome an altitude difference of 112m, to get to the Ládví station.

From the stabling tracks of the Nádraží Holešovice Station on the left bank of the Vltava River, the route is led through a short cut-and-cover tunnel, which connects to two reinforced concrete tubes of the metro launched across the river from a construction trench on the right bank. The end of the cut-and-cover section is roughly 400m from the right bank (the Troja district, behind Povltavská Street), at a place where the surface starts to rise steeply. A mined part of the line, i.e. a twin track tunnel, begins at this place. A tunnel built in an open trench follows starting from the crossing of the route with Trojská Street. Remaining portion of the line is a mined twin track tunnel, with an exception of short single-track tunnels adjacent to the Kobylisy Station (designed to allow the operation of the central-island platform in the single vault station). The mined section between the Povltavská portal to the cut-and-cover section before the Ládví station is nearly 2,700m long. Two innovations have been applied to the line, both in the region of the design and the construction method. First, it is the original design of launched (immersed) tunnels, which was described in detail in the TUNEL 1/2002 magazine on pages 18 to 29. The other underground structure that has never been built on the Prague Metro is the one-vault station Kobylisy. The conception given by the design is also described in the issue 1/2002 of the TUNEL magazine, pages 30 to 33.

#### GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AT THE KOBYLISY STATION

Engineering-geological conditions at the station location were documented using archive and newly executed geological probes. The information on the geological conditions was refined using the data gained during the excavation of an access adit and disabled access lift. Based on the contractor's proposal, an inclined access adit leading from the old housing development area in Kobylisy (from the crossing of Na Pěšinách and Pod Statky streets) replaced the originally designed hoisting shaft. Premises of an old swimming pool, nearly at the end of the service, were used for this purpose. This adit (a horseshoe shaped profile, length of 261m, excavated cross section of 27.4m<sup>2</sup>) served, in addition to the refinement of the geological information and determination of hydrogeological conditions, also as a model allowing the experience gained from the excavation in the given geotechnical conditions to be applied to the station proper.

Although, the main reason why the adit was chosen for the access to the route (instead of the originally designed hoisting shaft) was the intention to avoid vertical transport in the process of excavation of underground spaces (the total natural rock volume removed via this adit is about 63,000 m<sup>3</sup>). It must be noted that when the construction is completed, the adit will be used for the construction of final structures of the ventilation system of the line IV C1.

The tunnel tube of the one-vault station is positioned in a Dobrotivý series of strata of facies of Skalec quartzites formed by a belt in the NE – SW direction above measures of Šárka shales. The direction of the steeply inclined strata of quartzites and laminated clayey shales is very close to the direction of the longitudinal centre line of the one-vault station. The quartzite strata alternate irregularly with thinly laminated several centimetres to several meters thick layers of clayey shales. The Skalec quartzites are intensively fractured, vary in colour from white-grey to rusty-brown, from time to time even dark red,



podkovovitý tvar, délku 261 m a plochu výrubu 27,4 m<sup>2</sup> sloužila kromě geologické dorozvědky (tedy k upřesnění geologických informací i vysledování hydrogeologických poměrů) zároveň jako model, umožňující převzetí vybraných zkušeností z ražby v daných geotechnických podmínkách pro ražbu vlastní stanice.

Hlavní důvod volby štoly jako přístupu do trasy (oproti původně navržené šachtě) však bylo vyloučení svislé dopravy při ražení podzemních prostor. Celková kubatura horniny vytěžená touto štolou totiž představuje v rostlém stavu cca 63 000 m<sup>3</sup>. Nutno dodat, že po ukončení výstavby bude štola využita pro vybudování definitivních objektů větrání trasy IVC1.

Vlastní tunelová trouba jednodolní stanice leží v dobrotivském souvrství facie skaleckých křemenců, kterou tvoří pruh ve směru severovýchod – jihozápad nad polohami šáreckých břidlic. Směr strmě uložených vrstev křemenců a tence vrstvených poloh jílovitých břidlic se velmi blíží směru podélné osy jednodolní stanice. Vrstvy křemenců se střídají nepravidelně s polohami jílovitých, tence vrstevnatých břidlic mocných od několika cm až po několik metrů. Skalecké křemence jsou značně rozpukané, zbarvení je různé od bělavě šedých až po rezavě hnědé, občas i do tmavě červená a téměř vždy vedou vodu s ohledem na jejich napojení na spodní vrstvy křídly, kterými je ordovicke souvrství v celém prostoru stanice vodorovně překryto.

Spodní vrstvy v podstatě vodorovného křídového souvrství jsou tvořeny prachovitými jílovci, které obsahují nahodile štěrkové polohy. Šedé až rezavě zbarvené jílovce pak směrem k povrchu přecházejí do pískovců. Cenomanské pískovce v nadloží jílu jsou rezavě žluté, středně zpevněné a rozpukané. Poloha těchto pískovců je cca 10 m mocná. Před prováděním ražeb existoval předpoklad, že právě tyto pískovce mohou podstatně eliminovat vliv ražby na poklesy povrchu terénu. Sedimentace pískovců je ukončena zelenošedými jílovitými jemnozrnnými glaukonitickými pískovci o mocnosti 4 – 5 m. Zbytek nadloží až k povrchu je pak tvořen 4–5 m mocnou vrstvou hlín a navážek. Významným prvkem na počátku razičských prací byla ustálená hladina podzemní vody v cenomanských pískovcích cca 6 m nad povrchem nepropustných jílovců.

## VÝVOJ KONCEPCE STANICE

V dokumentaci pro ÚR z roku 1997 bylo o stanici Kobyliisy ještě uvažováno jako o tradiční stanici metra se třemi staničními tunely, přičemž v krajních tunelech byla boční nástupiště a střední tunel byl navíc koncipován pro využití technologie. Na koncích nástupišť by byly kratší úseky středního tunelu využívány pro propojení krajních staničních tunelů při vyústění eskalátorových tunelů situovaných do střední části stanice.

Výše uvedená koncepce by však vyžadovala vyřešení řady provozních problémů. Proto se po přemístění převážné části technologického zařízení do západního vestibulu a za využití kabelové šachty (umístěné mezi traťové tunely v blízkosti stanice) stanice pozměnila na stanici dvouklenbovou se dvěma samostatnými staničními tunely s dvěma příčnými spojovacími chodbami, do kterých by ústily tunely eskalátorové.

Toto řešení se na požadavek investora ještě před zahájením realizace změnilo na stanici jednodolní s ostrovním nástupištěm tak, aby příčné propojovací chodby nejzatíženější z hlediska pohybu cestujících byly vyloučeny.

Stanice Kobyliisy je tedy první ražená jednodolní stanice na pražském metru.

and they nearly always convey water as a result of their connection to the lower cretaceous layers (covering horizontally the Ordovician series of strata within the entire area of the station).

The lower layers of the basically horizontal Cretaceous assembly consist of silty claystone containing random measures of gravel. Towards the surface, the grey to rusty coloured claystones change to sandstones. The Cenomany sandstones overlaying the clays are rusty-yellow, medium consolidated and fractured. This layer of sandstones is about 10m thick. There had been a presumption before the excavation begun that it would be these sandstones what could significantly eliminate the impact of the excavation on the ground surface settlement. The sedimentation of the sandstones ends by a green-grey clayey fine grained glauconitic sand layer 4 – 5 m thick. Remaining part of the overburden reaching up to the surface consists of a 4 – 5 m thick layer of loam and made ground. A factor important at the beginning of the excavation work was the ground water standing level in the Cenomany sandstones found about 6 m above the surface of the impermeable claystones.

## DEVELOPMENT OF THE STATION CONCEPTION

The planning permission documents from 1997 considered the Kobyliisy station as a traditional metro station with three station tunnels, with side platforms in the side tunnels and the central tunnel drafted for installation of the equipment in addition to the basic purpose. Short sections at the ends of the central tunnel would have been used to provide interconnection between the side station tunnels. Escalator tunnels led to the central part of the station.

The above conception would have required solution to a series of operational issues. Therefore the major part of the equipment was relocated to the western ticket hall and, using also the cable shaft located between the running tunnels in the vicinity of the station, the station was changed to a two-vault station with two cross passages and escalator tunnels leading to those passages. This solution had been changed before the commencement of the works (on a client request) to a one-vault station with an island platform. Thus the issue of movement of passengers through the cross passages was eliminated.

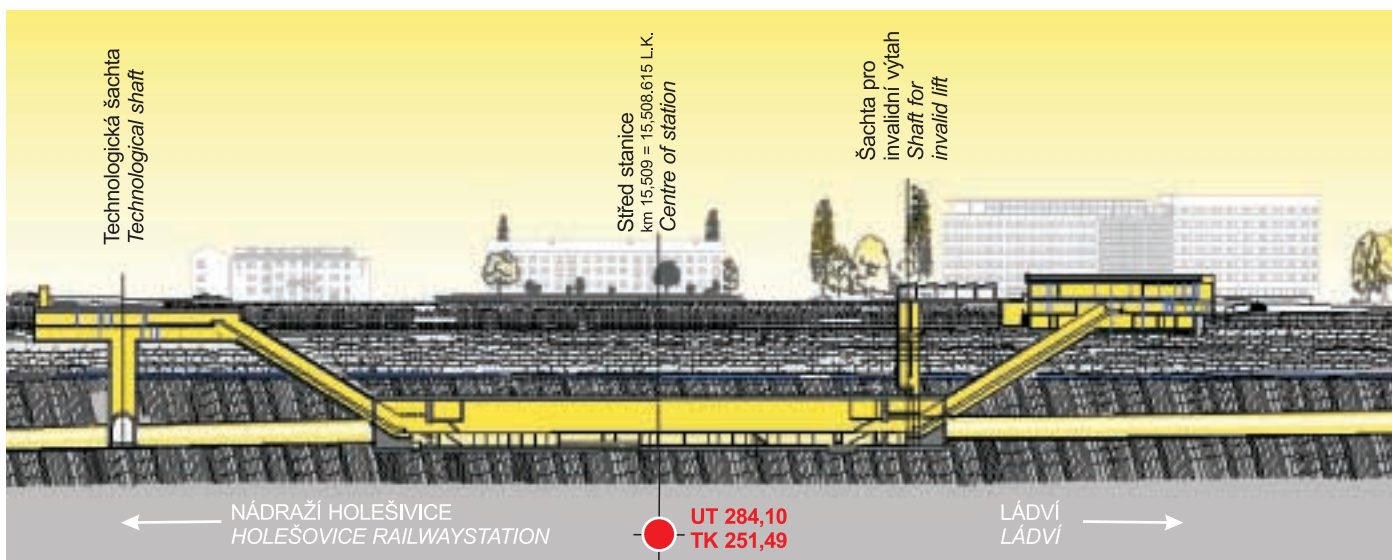
The Kobyliisy station is the first mined one-vault station in the Prague Metro network.

## THE STATION STRUCTURE – TECHNICAL SOLUTION

The Kobyliisy station is a one-vault station excavated by the NATM technique, with double-shell lining and intermediate 3mm-thick PVC waterproofing membrane; the primary shotcrete lining (SC 20) and secondary lining (C 30) is 400 mm and 600 mm thick respectively. The total length of the station tunnel is 147.9 m.

It was decided to excavate the station in a series of headings and benches, with both vertical and horizontal sequencing. The reasons were as follows:

- big size of the excavated cross section of the station of 228 m<sup>2</sup> (the excavation width of 21 m)
- excavation of the station within an area with existing surface buildings
- geotechnical conditions for the mining operations were assessed as unsatisfactory considering the results of the engineering-geological investigation and the size of the excavated cross section.



Obr. 2 Podélný řez jednodolní stanice

Fig. 2 Longitudinal section through the one-vault station

### KONSTRUKCE STANICE, TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Stanice Kobylisy je jednoduchá stanice ražená technologií NRTM s dvourstevným ostěním a mezilehlou foliovou izolací z PVC o tloušťce 3 mm; tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu je 400 mm (kvalita SB 20) a sekundárního ostění 600 mm (B 30). Celková délka staničního tunelu je 147,9 m.

Bylo rozhodnuto razit stanici po dílčích výrubech s členěním vertikálním i horizontálním z následujících důvodů:

- značná velikost výrubu staničního profilu – 228 m<sup>2</sup> (šířka vylomu cca 21 m);
- ražba stanice na území se souvislou zástavbou na povrchu;
- dle výsledků inženýrsko-geologického průzkumu ve vztahu k velikosti výrubu byly geotechnické podmínky pro ražbu vyhodnoceny jako nepříznivé.

Tři základní výrubu, z nichž boční mají v přístropí tvar gotické klenby, se vertikálně dělí dle časového odstupu pobírání každý na dvě části. Kalotu s jádrem, které se odebírají najednou a spodní protiklenbu rovněž ve tvaru nesouměrné gotické klenby.

Oběma čely staničních tunelů východním i západním procházejí jednak eskalátorové tunely s plochou výrubu cca 42 m<sup>2</sup> a na stranách dva jednokolejné traťové tunely přivádějící kolej metra k bokům ostrovního nástupiště ve stanici. V místě zaústění východního eskalátoru je umístěn výtah pro osoby s omezenou pohyblivostí.

V blízkosti čel nástupiště budou umístěny tlakové uzávěry, umožňující v případě potřeby uzavřít prostor stanice.

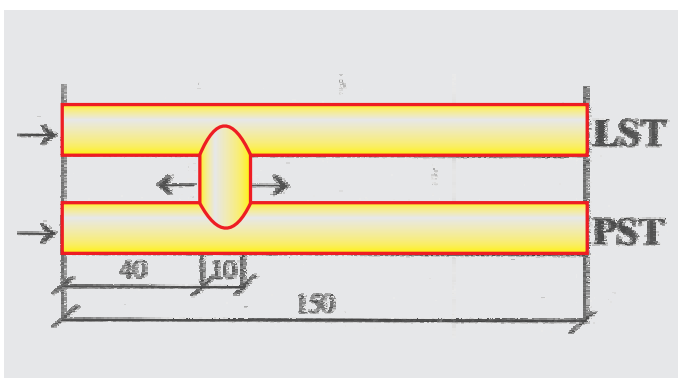
Na jaře 2001 byla vyražena jako vůbec první podzemní dílo v místě budoucí jednoduché stanice šachta pro výtah. Z ní bylo čerpáno z horizontu cca 14 m pod terénem (z tehdejší úrovně spodní vody v křídovém souvrství) přibližně 7–8 litrů podzemní vody za vteřinu.

Již během ražby bočních tunelů členěného výrubu stanice (LST, PST) se ukázalo, že geologické složení masivu a jím dané množství vody přitékající do výrubu budou mít výrazný vliv na chování horniny a vlastní ostěnění tunelů. V levém bočním tunelu docházelo (po vyražení prvních cca 50 m, kdy geologii tvořila v podstatě pouze břidlice bez větších výronů vody) k velice pestrému a častému střídání břidlic s křemenci (ty doprovázely vždy silnější výrony vody až v rozsahu cca 3–5 l/sec v čelbě) až do konce profilu stanice. V pravém bočním tunelu byl vývoj v podstatě v celé délce stanice (cca 150 m) monotónní – břidlice, téměř suché v době ražby a teprve později se projevoval drenážní účinek podzemního díla charakteristický stahováním okolní vody počvou tunelů do vyraženého díla.

Dlouhodobě bylo v průměru z podzemního díla přístupovou štolou čerpáno cca 20–25 l/sec. Bylo to čerpání z celé délky tunelů té části trasy, která byla přes přístupovou štolu ražena.

Razičské práce byly zahájeny v květnu 2002 a byly ukončeny v listopadu 2002. Ražba byla zahájena ražením bočních tunelů v úrovni horního patra přibližně s jednoměsíčním vzájemným odstupem. O další měsíc později byla zahájena ražba spojky mezi bočními výrubními průřezy přibližně v jedné třetině délky stanice.

S ohledem na silné zvodnění výrubu zejména v levém bočním (staničním) tunelu (LST cca 3 až 5 l/sec) však docházelo během ražby k rozmáčení a zbahnění dočasně počvy bočních výrubů stanice, a tím i ke zpomalení postupu ražeb. Hornina byla v převážné míře rozrušována beztrhavinovým způsobem (levý a střední staniční tunel) tunelbagrem Liebherr 932. Pouze v pravém sta-



Obr. 3 Schéma pobírání stanice  
Fig. 3 Excavation process of the station

Each of three basic excavations, out of which the side excavations have crowns shaped as gothic vaults, is divided vertically into two sections according to the time sequence of the excavation, i.e. the top heading and bench (excavated concurrently) and invert (also shaped as an asymmetric gothic vault).

Escalator tunnels with excavated cross section of 42 m<sup>2</sup> join the station excavation at both eastern and western end. On the sides, two single-track running tunnels carry the metro tracks to the sides of the island platform in the station. The disabled access lift is positioned to the place where the eastern escalator connects to the station.

Pressure proof gates allowing a closure of the station in case of a necessity will be installed in the vicinity of the ends of the platform.

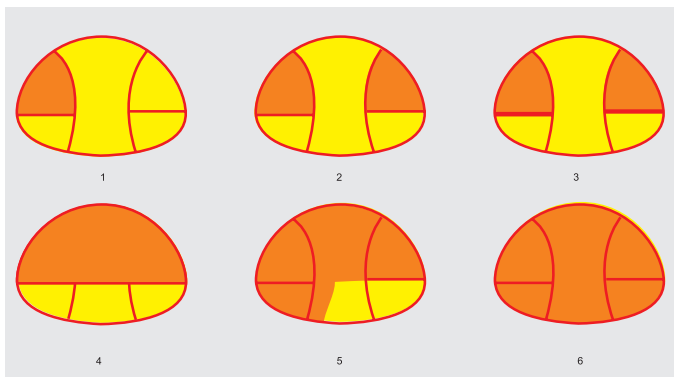
The first underground work carried out in the area of the future one-vault station was the lift shaft sinking (Spring 2001). The shaft was used for pumping groundwater from a horizon about 14 m under the ground surface, i.e. from the ground water level existing then in the bottom layers of the Cretaceous series of strata (7–8 litres per second).

It was found already in the course of the excavation of the sidewall tunnels of the divided station excavation (LST, RST) that the geological composition of the massif and the volume of water flowing into the opening (predestined by this composition) would affect the rock behaviour and the tunnel lining significantly. Very diverse and frequent alternating of shales and quartzites occurred in the left sidewall tunnel (after excavating the initial 50m-long section where the geology comprised basically only shale without larger water strikes). It continued up to the end of the station profile. The alternations were always accompanied by stronger water strikes at the face ranging from 3 to 5 l/s. The development in the right tunnel was basically monotonous along the entire length of the station (about 150m), i.e. shales, nearly dry during the excavation, and subsequent manifestations of the drainage effect of the underground opening in a form of surrounding water drawn to the tunnel through the invert.

In the long term, about 20–25 litre/s of water were pumped from the underground works via the access adit. The water was pumped from the entire length of the tunnels of the relevant part of the route which was excavated using the access adit.

The excavation operations started in May 2002 and they were finished in November 2002. The operations started by excavating the sidewall tunnels at a level of the upper floor, the first tunnel approximately one month after the first one. Another month later the excavation of a cross passage between the sidewall excavation profiles started (roughly at one third of the station length).

The temporary bottoms of the sidewall tunnels became waterlogged due to intensive inflows of water, to the left station tunnel (LST) above all (about 3 to 5 litre/s), thus the advance rate of the excavation was slowed down. The rock was mostly disintegrated without blasting, using the Liebherr 932 tunnel excavator (the left and central station tunnel). Blasting operations were used on the right station tunnel (RST) only, as nearly entire length of this tunnel passed through shales conveying no water. The blasting was carried out beyond night hours and was applied to a part of entire cross section of the sidewall tunnel. Regarding the central part of the station excavation (CST), groundwater appeared sporadically only. Virtually no water was encountered at the face during the excavation work. Only when the primary shotcrete lining had been completed and additional 3m-long roof anchors installed as originally requested by the designer was the water remaining in the bottom layers of the Cretaceous series of strata drawn to the tunnel. This fact suggests that the drainage effects of the previous excavation of the sidewall tunnels were sufficient. In the time when the excavation of the central station tunnel took place the two escalator tunnels had already been excavated and



Obr. 4 Schéma členění ražby stanice  
Fig. 4 Sequencing of the excavation



ničním tunelu, který byl ražen v podstatě po celé délce břidlicemi, které nevedly vodu, se používaly mimo noční dobu trhací práce zčásti, případně v celém průřezu bočního tunelu. Ve střední části výlomu stanice (SST) se podzemní voda objevovala pouze sporadicky. Na čelbě během ražení v podstatě vůbec ne, teprve po nástřiku primárního ostění při kotvení stropu, které původně požadoval projektant, se kotvami o délce 3 m stáhla do tunelu zbytková voda ze spodních vrstev křídy. Z toho lze usuzovat, že drenážní účinky předchozích ražeb bočních tunelů byly dostatečné. V době, kdy se razil střední tunel stanice, byly již vyraženy oba eskalátorové tunely a zajištěny primárním ostěním ze stříkaného betonu. Tato díla „přefala“ vodonosnou vrstvu před i za stanicí, a přispěla tak k odvedení či snížení úrovně podzemní vody nad klenbou jednokolejné stanice.

Po vyražení a vyčištění horních částí bočních tunelů v celé délce stanice se provizorně vybetonovala jejich dna (viz. obr. 4). Poté následoval výrub střední části stanice opět v horním patře, který byl realizován z již zmíněné spojky zhruba ve třetině středního staničního tunelu oběma směry vpřed i vzad (viz. obr. 3). Vzhledem k zastíženému relativně suché hornině při ražbě kaloty střední části stanice bylo možné bez problémů opakovaně vysahovat dostatečně dlouhou rampu mezi vnitřním ostěním bočních tunelů, po které se používaná mechanizace dobře pohybovala. Za postupujícím výrubem kaloty a jádra střední části výrubu stanice bylo vždy na polovinu probíráno dno celé stanice a budována protiklenba (viz. obr. 4). Jednalo se tedy vlastně o kombinaci

*secured by shotcrete primary lining. These tunnels cut through the water bearing layer before and behind the station, thus they contributed to the removal of ground water or lowering of the water table above the one-vault station roof.*

*When the excavation and cleaning the upper portions of the sidewall tunnels had been finished within the entire station length, the bottoms were supported temporarily with concrete (see Fig. 4). Then the excavation of the central portion (its upper part) of the station followed. This excavation was carried out from the above-mentioned cross passage located at one third of the central station tunnel length, in both driving directions, i.e. forward and back (see Fig. 4). Thanks to the fact that the rock encountered in the course of the top heading of the central part of the station was relatively dry, it was possible to repeatedly develop a sufficiently long ramp between the internal liners of the sidewall drifts for the movement of the construction equipment. The excavation of one and subsequently the other half of the entire station bottom and casting of the invert followed the excavation of the top heading and bench of the central part of the station (see Fig. 4). This means that the excavation sequence was a combination of horizontal and vertical sequencing systems. Average monthly advance rates on the sidewall tunnels varied between 50 to 60 m. Similar rates (maximum daily excavation advance rate of 2m per 24 hours on one excavation face) were achieved on the top heading of the central part of the station (CST).*



Obr. 5 Detail prostupu jednokolejného a eskalátorového tunelu do čela staničního profilu  
Fig. 5 Single-track tunnel and escalator tunnel entering the station profile



horizontálního a vertikálního členění díla. Průměrné měsíční postupy na ražbách bočních tunelů se pohybovaly mezi 50 až 60 m. Na ražbě kaloty střední části výrubu stanice (SST) bylo dosaženo obdobných postupů s maximálním denním výkonem 2 m za 24 hod. na jedné čelbě.

### STROJNÍ SESTAVA

**Ražba jednolodní stanice byla realizována klasickou strojní sestavou pro NRTM:**

- menší boční výrub (horní patro LST a PST) byly raženy za pomoci razicího a nakládacího stroje ITC 312 SCHAEFF. Díky hřeblovému dopravníku tohoto stroje bylo možné nakládání rubaniny přímo na dumpy;
- větší střední část výrubu (SST) byla rozpojována beztrhavinově tunelbagrem Liebherr 932 a nakládána strojem VOLVO 120;
- doprava rubaniny ze všech čelb byla uskutečňována demprou VOLVO 25;
- stříkaný beton SB 20 aplikovaný mokřím způsobem byl na výrub nanášen pomocí „spritzmobilů“ MEYCO a ALIVA při použití urychlující přísady Ekosal L/LD;
- v případě trhací práce byla čelba navrtávána vrtacími stroji Atlas Copco Boomer L2C, variantně 352, kterými byly prováděny rovněž vrty pro osazování kotev;
- stavba rámu a montáž sítí primárního ostění se prováděly s pomocí plošin Atlas – Copco DC 16/HL.

### MĚŘENÍ

Během ražby se detailně sledovaly deformace na povrchu i v podzemí. Protože ražba tak velkého výrubu, jako je jednoklenbová stanice, probíhala v městské zástavbě, bylo nutno minimalizovat účinky ražby na povrch, a tedy v případě nutnosti rychle reagovat na konvergenční měření na příklad doplněním o systémové osazení kotev délky 6,0 m s větší účinností. Zahraniční odborníci v technické radě, která celý průběh ražby od počátku sledovala, odhadli vliv vyražené stanice na povrch do 100 mm. Snahou technických pracovníků zhotovitele bylo tuto hodnotu nepřekročit.

Většina deformačních křivek měla velmi podobný průběh, kdy po okamžité deformaci po výlomu docházelo k rychlému uklidnění v řádu několika dnů. Při vzájemném porovnání deformací výrubů obou bočních tunelů (LST oproti PST) byly patrné výrazně lepší deformace PST z důvodů geologických podmínek, neboť výrub v celé délce byl prováděn pouze v břidlicích nepropouštějících vodu. V PST se naměřené hodnoty poklesu klenby pohybovaly kolem 15 mm, zatímco v LST dosáhly ojediněle až hodnoty 40 mm v místech, kde ražba procházela pásmem zvodnělých křemenců. Právě tato místa byla dodatečně dokotvena již zmíněnými kotvami délky 6 m, které spolehlivě zachytily další deformace líce primárního ostění. Lze konstatovat, že přes velmi malou vzájemnou vzdálenost obou ražených bočních tunelů, která činila 6 až 7 m, se dodatečné konvergence projevíly velmi málo. Maximální hodnota činila 5 mm. Rovněž brzy po zahájení ražby střední částí staničního tunelu bylo zřejmé, že vliv razících prací na deformace nebude tak velký, jak se původně očekávalo. Po ustálení všech pohybů měřených bodů na ostění hodnoty deformací

### MECHANICAL EQUIPMENT

**The one-vault station was excavated using a conventional set of equipment typical for the NATM:**

- The smaller sidewall drifts (the upper parts of the LST and RST) were excavated using the ITC 312 SCHAEFF heading and loading machine. The drag conveyor (part of the machine) allowed loading of muck directly into dumpers.
- The larger central part of the excavated cross section (CST) was excavated by the Liebherr 932 tunnel excavator, without blasting, and VOLVO 120 loaded the muck
- VOLVO 25 dumpers removed the muck from all headings.
- Wet shotcrete SC 20 was applied to the excavation face by MEYCO and ALIVA mobile sets (with Ekosal L/LD accelerating additive).
- Blast holes, wherever needed, were drilled by Atlas Copco Boomer L2C or 352 drilling sets. These machines drilled anchor holes as well.
- The erection of lattice girders and installation of welded mesh (primary lining) was carried out using Atlas – Copco DC 16/HL lifters.

### MEASUREMENT

Detailed monitoring of deformations both on the surface and in the underground was performed during the excavation operations. Because such a large profile as a one-vault station is was excavated in a developed area, the excavation impact on the surface had to be minimised. It was necessary to be able to respond rapidly to the results of the convergence measurement, e.g. by adding systematic 6m long anchors featuring higher efficiency. Foreign experts participating in the Technical Board, which followed the excavation operations from the very beginning, anticipated the surface settlement not to be higher than 100mm. Contractor staff's aim was to keep the settlement under this value.

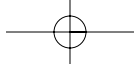
Most stress-strain curves were very similar, i.e. the deformation settled rapidly (in the order of several days) after the initial immediate reaction on the excavation. If we compare the deformations of the two sidewall tunnels (LST and RST), the RST deformations were significantly more favourable due to geological conditions (the excavation was carried out through impermeable shales along the entire tunnel length). The values of the RST arch settlement fluctuated around 15mm, while they achieved 40mm in isolated cases (in the locations where zones of water bearing quartzites were passed through. Those locations were additionally supported by the above-mentioned 6m-long anchors, which prevented further deformations of the primary lining reliably. We can state that despite very short axial distance of the mined sidewall drifts amounting to 6 to 7m the extent of additional convergences was very small. The maximum value amounted to 5mm. It was also obvious very soon after the beginning of the central part of the station tunnel that the effect of the excavation on the deformations would not be so big as expected initially. Once all the displacement and convergences measured on the lining had settled, the values rose by additional one-third as a maximum.



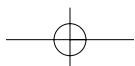
Obr. 6 Ražba střední části kaloty stanice  
Fig. 6 Excavation of the central part of the top heading



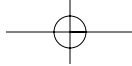
Obr. 7 Dobírání dna a uzavírání ostění jednoklenbové stanice  
Fig. 7 Bottom excavation and closing of the invert



Obr. 8 Vrtací práce na čelbě bočního tunelu v členěném výrubu stanice Kobylisy  
*Fig. 8 Drilling the face of the side-wall drift as a part of the sequential excavation of the Kobylisy station*



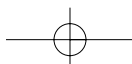




Obr. 9 Zahájení izolačních, armovacích a betonářských prací ve dně stanice  
*Fig. 9 Beginning of waterproofing and reinforcement placing and concrete casting work at the station bottom*



Obr. 10 Tunel stanice po betonáži spodní klenby, instalace izolačních folií  
*Fig. 10 Application of waterproofing membrane after completion of the invert*





vrstily navíc maximálně o jednu třetinu. Při vyražené kalotě na celou šířku stanice bez uzavřeného dna dosáhly hodnoty nivelace poklesu na terénu v místech nad podélnou osou jednolodní stanice maximálně 45 mm. Prokázalo se, že „pískovcová deska“ nad výrubem stanice vytvořila prvek, který přenesl zatížení nadloží i nad tak velkým výrubem, jakým jednoklenbová stanice bezesporu je.

Jedinou měřenou veličinou, která během ražby znamenala znepokojení, bylo naklání budov v poklesové kotlině stanice. Příkladem je základní umělecká škola u východního eskalátoru, kde se náklon z původních cca 1 : 2 600 s postupem ražeb eskalátoru a bočních tunelů stanice, změnil až na 1 : 500. Nutno však dodat, že tento náklon byl doprovázen pouze vlasovými trhlinami na fasádě budovy.

## ZÁVĚR

V době, kdy vyjde tento článek v časopise Tunel, budou hlavní stavební práce ve stanici Kobyličky dokončovány. Intenzivně budou naopak nabíhat činnosti související s technologickým a provozním vybavením stanice. Stavba stanice byla úspěšná i přes problémy, které vycházely z relativně krátkých lhůt stanovených pro jednotlivé etapy výstavby a z toho vyplývající obtížné organizace kumulovaných prací. Ražby 148 m dlouhé stanice byly provedeny od května do poloviny listopadu 2002, definitivní ostění bylo vybetonováno v období prosinec 2002 až květen 2003 a vnitřní konstrukce budou dokončeny v září 2003. Domnívám se, že první ražená jednoklenbová stanice metra Kobyličky zůstane významným technickým inženýrským dílem, kde investor, projektant i zhotovitel dobře zvládli rychlou a bezpečnou výstavbu zejména ve vzájemné relaci složitých geologických podmínek a velikosti výrubu i ve vztahu k stávající městské zástavbě nad stanicí.

*The maximum values of the settlement above the centreline of the one-vault station measured by levelling of the ground surface after the excavation of the top heading within the entire station width without closing the bottom reached 45mm. It was proved that the "sandstone slab" above the station opening created an element which carried the overburden load even above the large cross section excavation required for the one-vault station.*

*The only measured data causing some concern during the excavation operations was the tilting of buildings inside the settlement trough above the station. For example the tilt of the school of applied arts at the eastern escalator grew from an original value of 1 : 2600 to 1 : 500 with the advancing excavation of the escalator tunnel and sidewall drifts. It is however necessary to add that the tilting caused hairline cracks in the front wall only.*

## CONCLUSION

*The first mined one-vault station Kobyličky is certainly a significant piece of work in terms of civil engineering. In terms of the urban environment which this structure is located in, and with respect to the large cross section, this immense underground project is an outstanding deed accomplished jointly by the owner, designer and contractor.*

## Literatura / Literature

Bucek, Růžička, Zelenka: Prague Metro one-nave driven station SG/Geotechnika: Průzkumná štola – závěrečná zpráva o podrobném geotechnickém průzkumu

Kutil, Hasík, Růžička: První jednolodní ražená stanice na pražském metru



Obr. 11 Železobetonová klenba ostění stanice a pojezdňé bednění  
Fig. 11 Reinforced concrete vault and the traveller formwork

## ŘEŠENÍ STABILITNÍCH PROBLÉMŮ V OBLASTI SEVERNÍHO PORTÁLU TUNELU MRÁZOVKA

### SOLUTION OF STABILITY PROBLEMS AT THE NORTHERN PORTAL OF THE MRÁZOVKA TUNNEL

ING. RADKO BUCEK, PhD.  
STAVEBNÍ GEOLOGIE – GEOTECHNIKA, a. s.

Během ražby dvojice tunelových tratí tunelu Mrázovka došlo k neočekávaným problémům na severním portálu.

Nepřípustné sedání během ražby západní tunelové trouby doprovázené vážnějšími stabilitními problémy v obou tunelových rourách v okamžiku ražby východní klenby, představovaly náročnou inženýrskou výzvu jak pro dodavatele stavby, tak pro geotechnického supervizora.

#### TUNELY MRÁZOVKA

Tunel Mrázovka je součástí jihozápadního městského okruhu v Praze. Tunel tvoří dvě třípruhové trouby – západní (ZTT) a východní (VTT). Tunel podchází dva vrchy, Mrázovku a Paví vrch a hustě zastavěné mezilehlé údolí. Obě tunelové trouby mají šířku výrubu 16,62 m a výšku 12,5 m při ploše výrubu 165,00 m<sup>2</sup>, viz. obr. 1.

#### GEOLOGICKÝ PROFIL

Předpokládaný geologický profil před započítím ražeb v oblasti severního portálu je uveden na obr. 2.

V oblasti severního portálu procházela ražba letenskými břidlicemi, překrytými značnou vrstvou deluvií. Břidlice byly v této části tunelové trasy postiženy tektonickým porušením a zvětráním ve vyšší míře než v jiných částech tunelu.

#### PRŮBĚH RAŽEB

Jako první byla ražena ZTT a následně VTT. Ražba probíhala z obou portálů metodou členěného výrubu. V průběhu ražeb došlo v oblasti severního portálu k řadě technických problémů, které vyvrcholily v červnu 2001 výraznými deformacemi v ZTT i VTT s následným porušením primární výstroje tunelu.

#### a) Průběh ražeb ZTT

Po vybudování a zakotvení severního portálu se začala razit ZTT směrem od severního portálu (viz obr. 3) při horizontálním členění výrubu (viz. obr. 4).

Unexpected problems occurred at the northern portal during the excavation of the twin-tube tunnel Mrázovka.

Unacceptable surface settlement during excavation of the western tunnel tube, accompanied by severe stability problems in both tubes during excavation of the eastern vault, represented a demanding engineering challenge both for the structure contractor and the geotechnical supervisor.

#### MRÁZOVKA TUNNELS

The Mrázovka tunnel is a part of the southwestern Prague City Ring Road. The tunnel consists of two three-lane tubes – western (WTT) and eastern (ETT). It passes under two hills, Mrázovka and Paví Vrch, and a densely populated valley inbetween. The excavations of the tunnel tubes are 16.62 m wide and 12.5 m high, with cross section profiles of 165.00 m<sup>2</sup> (see Fig. 1)

#### GEOLOGICAL PROFILE

The geological profile anticipated prior to the launch of excavation at the northern portal is illustrated in Fig. 2.

In area of the northern portal the excavation proceeded through Letná-type shales, covered by a significant layer of deluvia. Shales in this section of the tunnel length were tectonically faulted and eroded in larger scale than in other tunnel sections

#### COURSE OF EXCAVATIONS

The WTT was excavated first, the ETT subsequently. The excavation proceeded from both portals by the sequential excavation method. Several technical problems occurred during the course of the excavation of the northern tunnel, which culminated in June 2001 by severe deformations in both WTT and ETT with subsequent damaging of the primary tunnel support.

#### a) Course of excavation of the WTT

Following construction and anchoring of the northern portal, excavation of the WTT began from the northern portal (see Fig. 3) using horizontal sequencing of the face (see Fig. 4).



Obr. 1 Severní portál tunelu Mrázovka  
Fig. 1 Northern portal of the Mrázovka tunnel



Výrub kaloty (výrub 1, obr. 4) byl zajištěn hydraulicky rozpínanými svorníky typu boltex 4 a 6 m dlouhými (později 6 m dlouhými SN kotvami v patach klenby) a vrstvou stříkaného betonu vyztuženou příhradovými nosníky typu Bretex a dvěma svařovanými ocelovými sítěmi.

Brzy po začátku ražby se ukázalo, že deformace v okolí tunelu a následně deformace nadloží dosahují již po vyražení kaloty několikanásobně vyšších hodnot, než se očekávalo. Navíc došlo mezi portálem a propojkou T5 k podélnému prasknutí obezdívky ze stříkaného betonu v délce několika metrů. Prasklina byla sanována injektovanými kotvami 6 m dlouhými.

Důvody a mechanismus neočekávaných deformací lze stručně popsat následovně:

- Po vyražení záběru byla nastříkána vrstva stříkaného betonu a osazen Bretex a poté byla dostříkána obezdívka do 60 % své tloušťky. Obezdvíka v tuto chvíli měla dostatečnou tuhost, aby přenesla zatížení. Tím není myšleno, že byla dostatečně tuhá na to, aby přenesla celé zatížení od deformující se horniny, ale byla dostatečně tuhá na to, aby zatížení přenesla do opor v patkách.
- Jak se váha rozvolněné horniny opřela do patek ostění, celé ostění se začalo stejnoměrně zabořovat do podloží. Tento jev je známý ve světě pod názvem „Leg subsidence“ a není novinkou ani při ražbě tunelů v ČR.
- Pokusy zastavit deformace rozšířením patek klenby či jejich podepřením mikropilotami se ukázaly neúčinné.
- Narůstající sedání primární obezdívky však umožnilo nad výrubem deformace v rozsahu postačujícím k vytvoření horninové klenby a deformace se uklidnily.
- Popsané problémy vedly projektanta s dodavatelem k rozhodnutí přejít v prostoru propojky T5 z horizontálního na vertikální členění (obr. 6). Toto opatření se ukázalo jako účinné.

#### b) Průběh ražeb VTT

VTT se začala razit zároveň směrem od severního portálu a na obě strany od propojky T5 (viz obr. 5) při vertikálním členění výrubu (obr. 6).

Ražba probíhala na všech frontách v sekvencích dle schématu na obr. 6. Délka kotev 6 m byla pro velikost výrubu bočních štol 1 a 2 vyhovující. Rovněž technologická kázeň byla odpovídající. Použití kotev typu Boltex a jejich funkčnost byly umožněny menšími deformacemi nepřesahujícími 6 cm.

Přesto ve dnech 13. a 14. 7. 2001 došlo v severním připořadlovém úseku VTT k náhlému zrychlení deformací s následným vybočením vnitřních (dočasných) stěn opěrných tunelů (1-LOT a 2-POT, obr. 5) na straně dočasného pilíře.

Na obr. 7 je situace ražeb v době počátku problémů, kdy ZTT byla vyražena v celém rozsahu a světlé plochy ukazují vyražené části VTT.

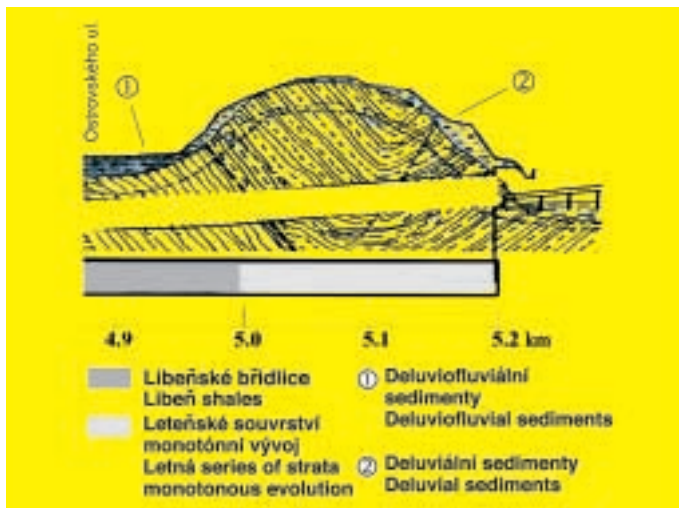
Elipsy znázorňují oblast zvýšených deformací v tunelu i na povrchu z doby ražby ZTT. Z rozsahu a průběhu deformací lze předpokládat, že ve VTT (v oblasti ohraničené na obr. 7 rámečkem) došlo k vyčerpání únosnosti dočasněho pilíře mezi LOT a POT ve VTT a k jeho částečnému porušení. Následně došlo k přetížení hlavního pilíře mezi VTT a ZTT.

Důvody přetížení pilířů v oblasti severního portálu jsou:

- Nízké nadloží tvořené slabou vrstvou převážně zvětralých břidlic a kvartérním pokryvem a přítomnost poruchy, charakterizované milonitizovanými břidlicemi v kritickém místě.
- Mocnost pilíře menší než průměr jedné ražené trouby.
- Rozvolnění masivu vlivem ražby ZTT.
- Nedostatečné kotvení pilíře ze ZTT.
- Deformace z ražby VTT přispěly spolu s efektem rychle se svažujícího terénu k odstartování nepředvídaných deformací v oblasti severního portálu.

K problémům rovněž přispělo:

- Porušení primární obezdívky v ZTT z průběhu ražby ZTT a její další oslabení v důsledku přeprofilování.



Obr. 2 Předpokládaný geologický profil  
Fig. 2 Anticipated geological profile

The top heading (cut 1, Fig. 4) was secured by 4 and 6 m long hydraulic-expansion rock bolts Boltex (later 6 m long SN anchors at the vault springing) and a layer of shotcrete, reinforced by lattice girders Bretex and two layers of welded steel mesh.

Soon after the excavation started it was found out, that deformations in the tunnel's surrounding and consequently in the overburden rose to several times higher values than those estimated already after the excavation of the calotte. Furthermore, there was a several meters long axial fracture in shotcrete lining between the portal and the cross passage T5. The fracture was sealed by 6 m long grouted anchors.

Causes and mechanisms of the unexpected deformations can be briefly described as follows:

- Following excavation of a round, a layer of shotcrete was applied, Bretex installed and then the lining concrete sprayed up to 60 % of the lining thickness. At this point, the lining was hard enough to carry the load. That does not mean, however, that it was hard enough to carry the entire load due to the rock deformation, but it was hard enough to carry the load onto springing of the arch.
- Once the weight of the loosened rock fully rested on the lining legs, the entire lining began to steadily penetrate into the bed. Such phenomenon is known worldwide as the "Leg subsidence" and it is nothing new at tunnel excavations in the CR either.
- Trials to prevent deformations by widening the vault legs or their underpinning by micropiles proved ineffective.
- But the increasing settlement of the primary lining enabled deformations above the opening, sufficient for development of the natural arch and the deformations ceased.
- The described problems led the designer along with the contractor to a decision to switch from the horizontal to vertical sequencing (Fig. 6) in the area of the cross passage T5. Such the measure proved effective.

#### b) Course of excavation of the ETT

Excavation of the ETT began simultaneously from the northern portal and in both directions from the T5 cross passage (see Fig. 5) using a vertical sequence (Fig. 6).

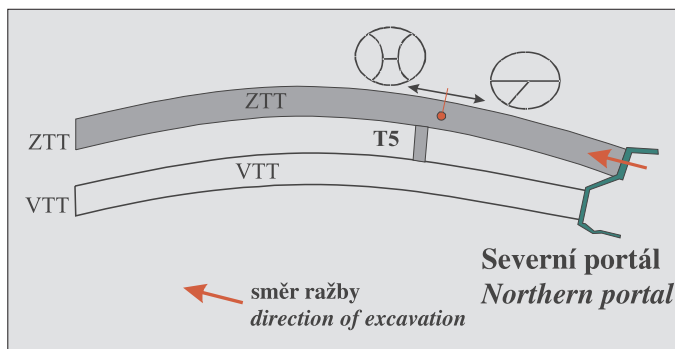
The excavation proceeded at all sections in phases according to table on Fig. 6. Anchor length of 6 m was convenient for the size of the excavation of the cross passages 1 and 2. Also the technological discipline was correspondent. The use of Boltex rockbolts and their function were enabled by smaller deformations, not exceeding 6 cm.

Nevertheless, a sudden acceleration of deformations with subsequent swaying of the inner (temporary) walls of supporting tunnels (1 - LST and 2 - RST, Fig. 5) at the side of the temporary pillar occurred at the northern ETT by-portal section during July 13-14, 2001.

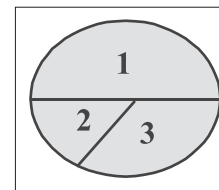
Fig. 7 illustrates the situation of excavations by the time the problems began, when the WTT was fully excavated (light spaces show excavated sections of ETT). Ellipses show the area of higher deformations in the tunnel as well as on the surface by the time of excavation of VTT. From the range and course of deformations it can be assumed that bearing capacity of the temporary pillar between LST and RST in the ETT was exceeded and it got partially damaged. Subsequently, the main pillar between ETT and WTT was overloaded.

The reasons of the pillar overloading in the area of the northern portal are following:

- Low overburden consisting of a thin layer of mostly eroded shales, quaternary cover and an occurrence of a weakness zone, characterized by milonitized shales at the critical spot.
- Pillar width lower than radius of one excavated tube.
- Loosened massif due to the excavation of the WTT.



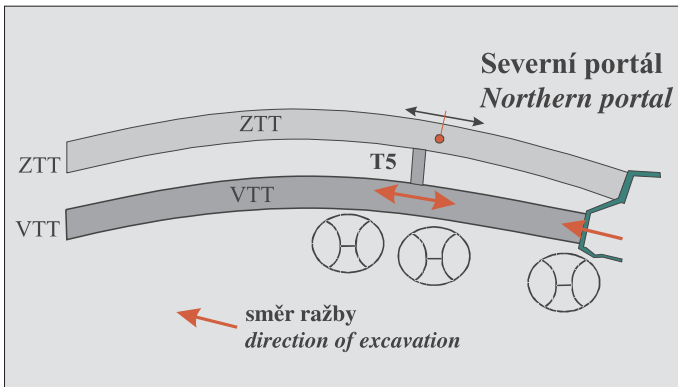
Obr. 3 Schéma postupu ražby v ZTT  
Fig. 3 Table of excavation procedure



Obr. 4 Členění výrubu  
Fig. 4 Face excavation sequences

**Progresivní vývoj trhlin v ostění ZTT**

V souvislosti s událostmi ve VTT byl dne 3. 8. 2001 zjištěn progresivní vývoj trhlin v ostění ZTT. Došlo k odprysku vnitřní vrstvy ostění včetně svařovaných sítí i k vybočení rámu Bretex. Hloubka některých trhlin byla viditelně větší než 100 mm. Konvergenční měření ukázala deformace ostění směrem do výrubu s rychlostí 2–3 mm/týden.



Obr. 5 Schéma dokončení ražby ve VTT u severního portálu  
Fig. 5 Completion of the excavation at the northern portal of the ETT

- Insufficient pillar anchoring from the WTT.
- Deformation due to the ETT excavation along with the effect of fast descending terrain contributed to the launch of unpredictable deformations in the area of the northern portal.

To the problems also contributed:

- Damage to the primary lining of the WTT during the course of the WTT excavation and its further weakening due to reprofiling.

**Progressive evolution of faults in the WTT lining**

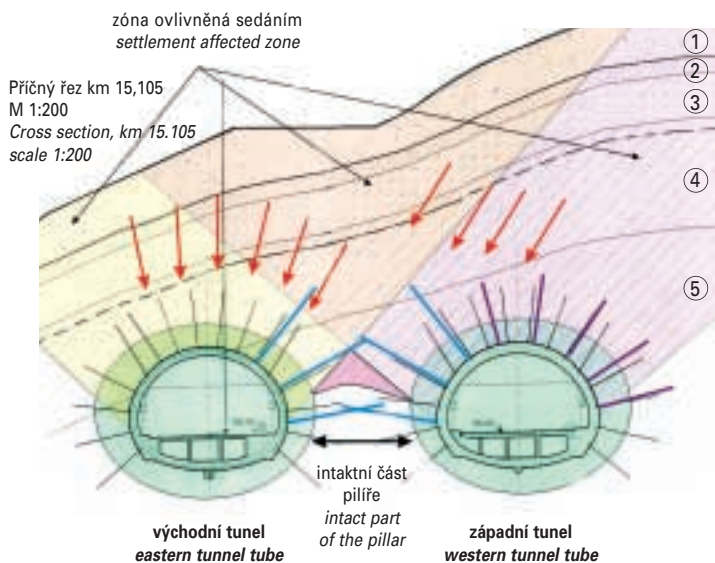
In connection to events in the ETT, a progressive development of defects in the WTT lining was revealed on August 3, 2001. It developed into detachment of the inner lining layer including the welded mesh and also into bending of the Bretex frame. Depth of some cracks was visibly higher than 100 mm.

Convergence measurements showed lining deformations towards the excavation opening with speed of 2-3 mm/week. Another increased activity of the old defects as well as formation of many new ones occurred between Tuesday and Thursday August 8, 2001. Also water leaking into the tunnel increased. Immediately following August 8, the contractor began installing 6 m long rockbolts Boltex.

Based on survey of the lining condition in the WTT and activation of convergence movements in the WTT it was agreed, that situation at northern portal of the Mrázovka tunnels was serious and required immediate action.

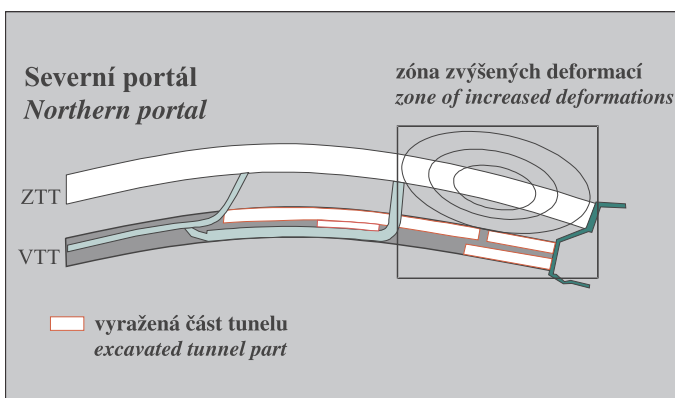
**Problem solution**

Excavation works were put on hold and a meeting was called on August 15, 2001, where SG – Geotechnika submitted a proposal for immediate start of remedial works on the main pillar between WTT and ETT and on the vault feet in the WTT using grouted anchors (Fig. 7). This solution was accepted. At the same time, the contractor began installing a timbering in WTT. Following the client's intervention, based on the supervisor's recommendation,

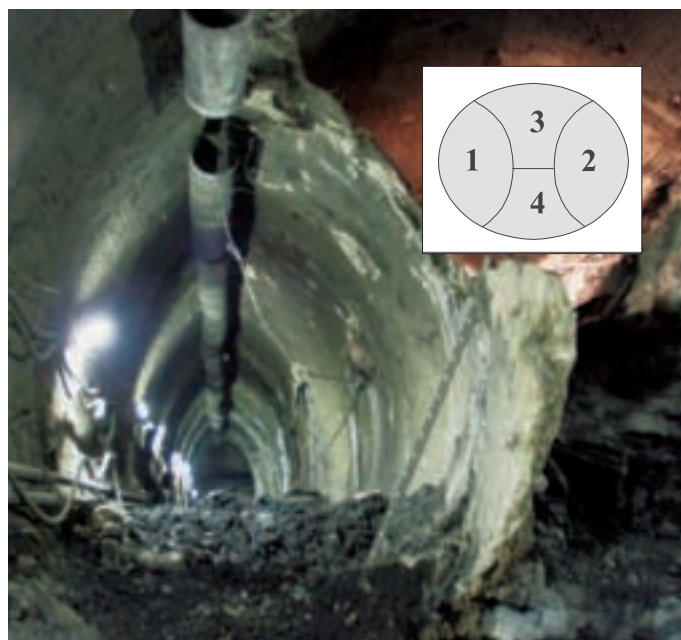


- |   |  |
|---|--|
| ① deluviální sedimenty a navážky<br>diluvial sediments and made-ground        | zóna kolem výrubu rozvolněná vlivem ražby a relaxace horniny<br>zone around the opening loosened due to the excavation and rock relaxation   |
| ② hornina rozložená<br>decomposed rock  | injektované tyčové svorníky 10 m, osazené v případě, že by se deformace rozšířily i do vnější strany tunelu<br>grouted rod-type bolts 10m long, installed in case of deformations spreading to the tunnel exterior |
| ③ hornina zvětralá<br>weathered rock  | injektované tyčové svorníky 12 m, osazené okamžitě<br>grouted rod-type bolts 12m long, installed immediately   |
| ④ hornina navětralá<br>slightly weathered rock                                |  |
| ⑤ hornina zdravá<br>sound rock  |  |
| → směry deformací a toku napětí<br>directions of deformations and stress flow |  |

Obr. 8 Sanace hlavního pilíře mezi ZTT a VTT a sanace patek klenby ZTT pomocí injektových kotev  
Fig. 8 Reinforcement of the main rock pillar between the WTT and ETT, and underpinning of the springing of the WTT by means of grouted anchors



Obr. 7 Situace ražby v okamžiku vzniku zvýšených deformací  
Fig. 7 Excavation state at the moment of occurrence of increased deformations



Obr. 6 Vertikální členění výrubu  
Fig. 6 Vertical excavation sequence



Od úterý do čtvrtka 9. 8. 2001 došlo k dalšímu výraznému oživení pohybu na starých trhlinách a ke vzniku mnoha nových. Začalo též docházet ke zvýšeným průsakům vody do tunelu.

Okamžitě po 3. 8. 2001 začal dodavatel osazovat 6 m dlouhé kotvy typu Boltex. Na základě rekognoskace stavu obezdívky v ZTT a na základě aktivace konvergenčních pohybů v ZTT bylo akceptováno, že situace tunelů Mrázovka u severního portálu je vážná a vyžaduje okamžité řešení.

#### Řešení problému

Ražby byly zastaveny a na 15. 8. 2001 bylo svoláno jednání, kde SG – Geotechnika předložila návrh na okamžité započítání prací na sanaci hlavního pilíře mezi ZTT a VTT a na sanaci patek klenby v ZTT pomocí injektovaných kotev (obr. 7) a řešení bylo akceptováno.

Souběžně dodavatel začal s instalací výdřevy v ZTT. Po zásahu investora byla na základě doporučení supervizora hustota dřevěných rámu oproti návrhu zmenšena na polovinu a nakonec po postavení čtyř rámu byla instalace další výdřevy zastavena.

Na následujícím jednání bylo rovněž odsouhlaseno injektování pilíře a klenby nad tunelem.

Kotvy byly osazovány systematicky dle schématu na obr. 8 a souběžně docházelo k dokotvování v závislosti na vývoji měřených deformací, místně až s roztečí kolem 1 m.

Opatření se ukázalo jako funkční, a tak po ustálení deformací byla provedena plánovaná sanace pilíře injektovanými mikropilotami.

Zajištění pilíře mikropilotami a injektáží se ukázalo být vyhovující a pilíř se nadále choval jako tuhý.

V říjnu 2001 byly rovněž provedeny sanace stropu ve VTT v okolí propojky T5.

#### Dokončení sanační injektáže

V lednu 2002 začaly probíhat injektáže stropu v ZTT. Rozsah injektáží i injektážní tlaky byly dohodnuty a schváleny na jednáních za přítomnosti investora a supervizora na základě předchozí podrobné rekognoskace stavu obezdívky v ZTT v příportálové oblasti.

Stanoveným cílem injektáže bylo sanovat bezprostřední okolí primární obezdívky tak, aby následně mohla být provedena její oprava a částečné přestrojení. Dohodnutý rozsah injektáží:

- V úseku bezprostředně před a za propojkou provést injektáž v plném rozsahu z důvodu ochrany rohů propojky a ochrany pilíře oslabeného propojkou.
- Dále provést injektáže v plném rozsahu v místě výdřevy a v částech, kde došlo k prasknutí obezdívky na obou stranách klenby.

Průběh injektáží nepřinesl žádné neočekávané deformace (maximální deformace nepřesáhly 5 mm) a proběhl bez problémů.

#### Oprava obezdívek v ZTT

V únoru 2002 došlo k odstranění dřevěných polygonů v ZTT a započaly opravy primární obezdívky. Průběh oprav proběhl bez problémů s minimální deformační odezvou.

Odstranění dřevěných polygonů a přestrojení obezdívky v místě polygonů vyvolalo maximální deformace 2 mm. Lze tedy odvodit, že polygony nepřenášely žádné významné zatížení.

Rozsah oprav obezdívky:

- Místa s prasklým, případně vypouklým stříkaným betonem. – Odstranil se veškerý uvolněný beton včetně první sítě (pokud porucha pokračovala za sítí), instalovala se nová síť a přestříkala se.
- Místa s prasklým, případně vypouklým stříkaným betonem a zkrouceným bretexem. Stejně jako za a), avšak v případě, že bretex zasahoval do profilu, nebo porucha zasahovala za bretex, byla vyříznuta i příslušná část rámu a navařena část nová.
- Souvisejší poruchy s prohýbanými a potřhanými bretexy a sítěmi. V takovémto případě bylo třeba kompletně odříznout a nahradit porušené ostění až k zdravému betonu nad i pod poruchou (oblast polygonů a částečně oblast za propojkou T5, kde došlo k porušení obezdívky na obou stranách klenby).

#### Pokračování ražeb ve VTT

Projektant vypracoval projekt na dokončení ražby VTT, který předpokládal, že ještě před ražbou kaloty dojde k osazení 2 spodních řad 12 m IBO kotev z opěrného tunelu VTT a při ražbě osazení třetí řady z kaloty.

Ražba, která proběhla dle projektu, byla bezproblémová a deformace od ražby kaloty nepřesáhly 10 mm.

Uzavření dna ve VTT přineslo deformace větší než dorážení kaloty. Tyto deformace se v době uzavírání dna v prostoru propojky T5 blížily 2 cm.

### 3. ZÁVĚR

Po zvládnutí problémů kolem severního portálu již ražby proběhly bez větších překvapení a lze již dnes konstatovat, že toto komplikované dílo je společným úspěchem dodavatelů, tedy firem Metrostav, a. s., a Subterra, a. s., projektanta, kterým byla firma SATRA, s. r. o., zástupce investora, kterým byla firma VIS, a. s. Ne nepodstatnou úlohu zde sehrál geotechnický konzultant a supervizor. Tyto činnosti pro investora vykonávala firma SG – Geotechnika, a. s.

the spacing of timber frames was diminished to one half according to the proposal and finally after erecting four frames further installation of timbering was stopped.

At the following meeting, it was also agreed to carry out grouting of the pillar and vault above the tunnel.

Anchors were installed systematically according to the table on Fig. 8. Simultaneously, final anchoring proceeded in dependence on the development of measured deformations, locally with spacing up to 1 mm. Such measure proved functional and thus, following stabilization of deformations, planned remedial work on the pillar using grouted micropilots was realized.

Support of the pillar by micropiles and grouting proved convenient and the pillar further acted as a firm one.

In October 2002, remedial work on the roof in the ETT in area of the T5 cross passage was also carried out.

#### Completion of the remedial grouting

Grouting of the roof in the WTT began in January, 2002. Range of the grouting as well as grouting pressures were discussed and adopted at sessions with the client and construction supervisor, based on previous detailed survey of the lining condition in the WTT by-portal section.

The determined goal of the grouting was to treat immediate surrounding of the primary lining, so that its repair and partial replacement of the support elements could be subsequently carried out.

Agreed range of the grouting:

- In the section immediately in front of and behind the cross passage to realize a full-scale grouting due to protection of the passage corners and protection of the pillar weakened by the passage.
- Further to realize a full-scale grouting in the section supported by timbering and in places where the lining fractured on both sides of the vault.
- Course of the grouting did not bring any unexpected deformations (maximal deformations did not exceed 5 mm) and proceeded without problems.

#### Rectification of lining in the WTT

In February 2002, timber polygons were removed from the WTT and repairs of the primary lining began. Repairs proceeded without problems and with minimal deformation response.

Removal of the timber polygons and repair of the lining in the locations of the polygons caused maximal deformations of 2 mm. It can be therefore assumed that the polygons carried no significant load.

Range of the lining repair:

- Places with fractured, eventually bulging shotcrete – All of the loosened concrete including the first layer of mesh (if the fracture went on behind it) was removed, new mesh was installed and resprayed with concrete.
- Places with fractured, eventually bulging shotcrete and twisted Bretex – Same as before, but in case Bretex interfered into the profile or the fracture went on behind Bretex, also the accordant frame section was cut out and a new one welded.
- Consistent fractures with twisted and broken Bretex and mesh – In this case it was necessary to fully cut out and replace the fractured lining all the way to solid concrete above and below the fracture (area of polygons and partially area behind the T5 cross passage, where the lining was fractured on both sides of the vault).

#### Resumption of excavation in the ETT

The designer elaborated a design for the completion of excavation of the ETT, which expected, that still prior excavation of the calotte, installation of 2 lower rows of 12 m IBO anchors will proceed from the ETT supporting tunnel, and during the excavation, installation of the third row will follow from the calotte.

Excavation, which proceeded according to the project, was without problems while deformations due to the calotte excavation did not exceed 10 mm.

Closing of the ETT bottom brought larger deformations than final excavation of the calotte. These deformations were, by the time of the bottom closing in the area of the T5 cross passage, close to 2 cm.

### 3. CONCLUSION

After successful handling of the problems with the northern portal, the excavations proceed without major surprises and therefore it can be already today stated, that this complicated work is a common success of the contractors, companies Metrostav a.s. and Subterra a.s., the designer, company SATRA, s. r. o., and the company VIS, a. s. managing and supervising the project on behalf of the client. A significant role has been also played the geotechnical consultant and supervisor. These activities have been performed on behalf of the client the company SG – Geotechnika, a. s.

# INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO TRASU METRA IV.C2 (LÁDVÍ – LETŇANY)

## ENGINEERING-GEOLOGICAL EXPLORATION FOR THE IVC2 METRO LINE (LÁDVÍ – LETŇANY)

JAKUB BOHÁTKA, Mgr. LUCIE URBANOVÁ, ING. ANNA ABRAMČUKOVÁ  
STAVEBNÍ GEOLOGIE – GEOTECHNIKA, a. s.

Příspěvek prezentuje stručně výsledky inženýrskogeologického průzkumu celé trasy metra IV.C2, podrobněji představuje poměry ražených úseků trasy a detailněji popisuje problémy, které bude nutno řešit při ražbě úseku SO 13.

### ÚVOD

Naše organizace realizuje inženýrskogeologické průzkumné práce pro podzemní dráhu v Praze již od roku 1954, kdy jsme navázali na předválečné koncepční průzkumy našich předchůdců (fy Záruba-Pfeffermann). V letech 1969 až 2003 jsme se podíleli na průzkumu, sledovací a expertní činnosti téměř na všech trasách metra.

Jako poslední z výše uvedených činností jsme realizovali pro trasu IVC2 komplexní podrobný a doplňkový inženýrskogeologický průzkum. Průzkum podrobný proběhl v období říjen 2001 – březen 2002 a doplňkový pak v listopadu 2002 až lednu 2003.

Předmětem průzkumů byla trasa metra IVC2 v úseku Ládví – Letňany (obr. 1), jejíž celková délka činí 4,6 km (km 9,595 – 14,194). Připravovaná trasa zahrnuje stavební oddíly hloubených stanic (SO 10 – Prosek I, SO 12 – Prosek II, SO 14 – Letňany), stavební oddíly hloubených částí tratových tunelů (SO 08, SO 11) a úseky prováděné kombinovanou technologií hloubením a ražením (H/R): SO 09–13,3 % H, 86,7 % R a SO 13–10 % H, 90 % R. Celková délka hloubených částí je 2339 m, tj. 50,9 % trasy a celková délka ražených částí činí 2260 m, tj. 49,1 % trasy. Do průzkumu byly také zahrnuty nezbytné přeložky inženýrských sítí, zejména kanalizace a přístupová štola do tratového tunelu SO 13.

Pro vyřešení komplexu otázek podrobného inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu byly provedeny vrtné práce, polní zkoušky a měření, laboratorní zkoušky zemín, hornin a vody.

This contribution briefly presents results of engineering-geological exploration of the entire subway line, and more in detail presents conditions in the mined line sections and describes problems, that will have to be dealt with during excavation of the section SO 13.

### INTRODUCTION

Our organization has been realizing engineering-geological exploratory works for the Prague subway already since 1954, when we resumed the legacy of pre-war conceptual explorations of our predecessors (company Záruba-Pfeffermann). Between 1969 and 2003, we have taken part in exploration, monitoring and consulting activity at almost all subway lines.

As a last one of the aforementioned activities, we have realized a complex detailed and additional engineering-geological exploration for the IVC2 line. The detailed exploration proceeded between October 2001 and March 2002, the additional then between November 2002 and January 2003. Subject of the exploration was the subway line IVC2 in section Ládví – Letňany (Fig.1), whose total length reaches 4,6 km (km 9.595 – 14.194). The designed line includes construction sections of cut-and-cover stations (SO 10 – Prosek I, SO 12 – Prosek II, SO 14 – Letňany), construction sections of cut-and-cover parts of running tunnels (SO 08, SO 11) and sections realized by a combined cut-and-cover and mining technique (CaC/E): SO 09–13,3% CaC, 86,7% E and SO 13–10% CaC, 90% E. The total length of cut-and-cover sections is 2339 m, i.e. 50,9% of the line, and total length of mined sections is 2260 m, i.e. 49,1% of the line. Required utility diversions, namely sewer network and access adit to the running tunnel SO 13, were included in the exploration. Boring works, field tests and measurements, laboratory tests of soils, rocks and water have been all carried out in order to solve the set of questions within the detailed engineering-geological and hydrogeological exploration.

Tabulka 1. Přehled prací provedených v terénu

Počet sond Celková délka	Vystrojené sondy	Presiometr. měření	Karotáž. měření	MSK	Prohlídka televizní sondou	Seismická tomografie	HG zkoušky
No. of probes Length	Probes with casing	Pressiometric measurement	Borehole survey	MSK	Survey by a TV probe	Seismic tomography	HG tests
71 ks 1269.9 m	33 ks	15 ks etáží	15 ks	21 ks	10 ks	2 x 2 ks	26 ks
71 pcs 1269.9 m	33 pcs	15 level pcs	15 pcs	21 pcs	10 pcs	2 x 2 pcs	26 pcs

Table 1. Overview of works realized in the field

Při hodnocení byly využity naše zkušenosti z prací v obdobných poměrech. Dále byl proveden stavebnětechnický průzkum vybraných objektů v zájmovém území trasy metra.

Doplňkový průzkum vycházel z výsledků předešlé etapy. Byl zaměřen převážně na zpřesnění hydrogeologických poměrů trasy (hlavně SO 13 a SO 14) a zjištění archivních indicií staré důlní činnosti v okolí SO 13.

### GEOLOGICKÉ POMĚRY TRASY IVC2

Geologická stavba zkoumaného území je poměrně pestrá a složitá. Předkvartérní podklad je v nejhlubší úrovni, mimo dosah projektované stavby, tvořen zvrásněnými horninami barrandienského ordoviku, na nichž jsou subhorizontálně uloženy sedimenty svrchní křídly.

**Bazální křídlová sedimentace cenomanská – K<sub>C</sub>** (vrstvy perucké), tvořená převážně jílovci a jíly, místy se střídáním pískovců, při bázi i slepenců. Jsou vyvinuty v plošně omezených reliktech v depresích ordovického podloží. Dosahují mocnosti až 10 m. Často obsahují zuhelnatělé zbytky rostlin, místy přecházejí až do uhelného jílovce s tenkými slojkami uhlí. Na sladkovodní až brakické sedimenty peruckých vrstev nasedají v prostoru trasy metra mořské korycanské pískovce. Mocnost pískovců kolísá, obvykle tvoří polohu cca 10 m mocnou, v místech depresí dosahuje mocnosti až 17 m. Strop korycanských pískovců tvoří obvykle poloha glaukonitického jílovitého pískovce o mocnosti 1–2 m.

Our experience from works in similar conditions has been used in the evaluation. Moreover, a construction-technical exploration of selected structures was carried out within the subway line's area of influence.

The additional exploration was based on results of the previous phase. It was focused mainly on increasing of accuracy of hydrogeological conditions along the route (especially SO 13 and SO 14) as well as discovering of residual signs of old mining activity close to SO 13.

### GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE LINE IVC2

Geological structure of the examined area is relatively heterogeneous and complicated. There is Pre-Quaternary underlier in the deepest level, outside of reach of the designed structure, consisting of folded rocks of the Barrandian Ordovician, on which the Upper Cretaceous sediments are sub-horizontally laid.

**Basal Cenomanian Cretaceous sedimentation – K<sub>C</sub>** (Perucian measures), consisting mainly of claystones and clays, locally alternating with sandstones, at base even with conglomerates. The reach thickness of up to 10 m. They often contain meroleims, which locally pass to carbonized claystone with thin streaks of coal. Freshwater to fluviomarine sediments of Perucian measures lay under the Korycanian marine sandstones in the area of the subway line. Thickness of sandstones varies, commonly it creates an approx. 10 m thick layer, and in zones of depression reaches a thickness of even 17 m. Top of the Korycanian sandstones usually consists of 1-2 m thick layer of glauconitized clayey sandstone.



**Spodnoturonská sedimentace** –  $K_T$  (bělohorské souvrství) začíná polohou homogenních, světle šedých jííl přecházejících do nadloží do žlutohnědých až žlutošedých jíilovců destičkovitě odlučných. Tato bazální poloha má mocnost 3–5 m. Nad ní je poloha písčitých jíilovců až prachovců, o mocnosti 2 m, která vznikla odvápněním původních slínovců a vápničných prachovců v pásmu spodnoturonského obzoru podzemní vody. V nadloží je pak poloha pevných slínovců až jíilovitých vápenců („opuky“) o maximální mocnosti 13 m. Směrem k okrajům křídové tabule mocnost „opuk“ klesá s povrchem terénu až pod 5 m (stanice Ládví). Povrchové partie bělohorského souvrství jsou obvykle nakypřené a prověřené periglaciálním promrzáním a překryty sprašemi a soliflukční hlinou.

V úseku km 13,4–14,2 jsou v nadloží bělohorského souvrství zachovány **písčité sedimenty** pliocénní říční terasy zdíbského stadia **terciéru (T)**.

**Kvartérní pokryvné útvary (Q)** jsou zastoupeny eolickými, deluviálními a deluviofluviálními uloženinami. Eolické spraše a sprašové hlíny mají charakter rozsáhlého plošného pokryvu a dosahují maximální mocnosti až 8 m. Deluviální, převážně soliflukční hlíny a písky tvoří obvykle 1–2 m mocnou polohu na bázi sprašového komplexu a na rozdíl od spraší mají zvýšený podíl úlomků hornin. Deluviofluviální hlíny se vyskytují pouze lokálně ve 2 splachových depresích. Antropogenní uloženiny tvoří zejména navážky v opuštěných těžebnách a násypy komunikací o mocnosti až 10 m.

Zastížené zeminy a horniny byly dle geotechnických vlastností rozděleny na geotechnické typy, které uvádíme v následující tabulce.

Tabulka 2. Přehled geotechnických (gt) typů

Stratigrafie	GT Symbol	Typ horniny	Popis	Geotechnická charakteristika	Stratigrafie	GT Symbol	Type Rocks	Description	Geotechnical characteristics
				Symbol (třída) ČSN 73 1001					Symbol (class) ČSN 73 1001
Kvartér (Q)	N	navážky	antropogenní sedimenty, velmi různorodé, pestré geotechnické vlastnosti, jíilovito-písčité zeminy, s proměnlivým množstvím hrubozrnné příměsi (hlna, písek, kameny, cihly, asphalt, beton)	F4/CS, F6/CI	Quaternary (Q)	N	landfills	Anthropogenic sediments, very heterogeneous, various geotechnical properties, clayey-sandy loams, with variable amount of coarsely-grained admixture (loam, sand, stones, bricks, asphalt, concrete)	F4/CS, F6/CI
	S (R)	spraše, splachy	písčítá hlna, hlna, jííl, vápnité, převážně tuhé až pevné, místy s příměsí úlomků slínovce, místy měkké, výplně mělkých splachových depresí (R)	F4/CS, F6/CL-I, F5/MI		S (R)	loess, outwash	Sandy loam, loam, clay, limey, mainly consistent to solid, locally with admixture of marlstone fractures, locally soft, fillings of shallow outwash depressions (R)	F3/MS, F4/CS, F6/CL, G5/GC, R6
	D(E)	hlíny, jíily	soliflukční hlíny a jíily s proměnlivým obsahem úlomků převážně slínovců, tuhé až pevné, přecházejí hlouběji do zvětralín slínovců (E) charakteru jemné písčité hlíny; obvykle na bázi kvartéru pod spraší, příp. svahové hlíny pod okrajem křídové tabule	F3/MS, F4/CS, F6/CL, G5/GC, R6		D(E)	loams, clays	Solifluction loams and clays with variable content of mainly marlstone fragments, firm to stiff, deeper passing to weathered marlstones (E) in form of soft sandy loam; commonly on the base of Quaternary below loess, eventually slope loams below the edge of the Cretaceous plateau	F3/MS, F4/CS, F6/CL, G5/GC, R6
Terciér (T)	T	písky, štěrky, hlíny	hlinitý písek se štěrkem, jíilovitý písek se štěrkem, písek se štěrkem, ulehle, na bázi místy poloha hlíny s úlomky a valouny, tuhé a pevné (terasa zdíbského stadia)	S4/SM, S3/G-F, G4/GM	Tertiary (T)	T	sands, gravel, loams	Loamy sand with gravel, clayey sand with gravel, sand with gravel, sedimented, at the base locally a layer with fragments and nuggets, consistent to solid (terrace of the Zdíby stadium)	S4/SM, S3/G-F, G4/GM
Křída turon (K <sub>T</sub> )	SL	jíilovité vápence, slínovce	horniny střední až vysoké pevnosti, místy na bázi s polohou odvápněných jíilovitých prachovců až prachovitých jíilovců, lavicovitě až deskovitě odlučné, středně rozpukané, při povrchu zvětřalé až navětralé (převážně se jedná o tzv. „opuky“)	R2 – R3(R4)	Cretaceous Turonian (K <sub>T</sub> )	SL	clayey limestones, marlstones	Rocks of medium to high strength, at the base locally a layer of decalcified clayey siltstones to silty claystones, thick-bedded to plate jointing, medium fracturing, at the surface weathered or semi-weathered (predominantly clayey limestones)	R2 – R3(R4)
	J	jíilovce, jíily	jíilovce velmi nízké pevnosti a jíily pevné až tvrdé (výjimečně tuhé konzistence), převážně nevápenné, na bázi místy glaukonitické písčité jíilovce a prachovce	R6 (R5)		J	claystones, clays	Claystones of very low strength and clays solid to tough (rarely consistent), mostly non-limey, at the base locally glauconitized sandy claystones and siltstones	R6 (R5)
Křída cenoman (K <sub>C</sub> )	P(GL)	Pískovce (glaukonitovce)	pískovce nestejnězrnné až jemnozrnné, s různým stupněm diagenetického zpevnění, variabilní pevnost, s pevnějšími limonitizovanými polohami, nejvyšší polohu tvoří glaukonitický jííl. pískovec (GL) až prachovec	R3 – R4 – R5 (GL – R5–R6)	Cretaceous Cenomanian (K <sub>C</sub> )	P(GL)	Sandstones (glaukonites)	Inequigranular to fine-grained sandstones, in various degree of diagenetic solidification, variable strength, with tougher limonitized layers, highest layer of glauconitized clay, sandstone (GL) to siltstone	R3 – R4 – R5 (GL – R5–R6)
	JU	jíilovce, pískovce slepence	jíilovce místy s uhelnou příměsí (příp. vložkami uhlí) i pískovce slabě zpevněné, snadno rozpádaté (perucké vrstvy)	R4 – R6 F6/CI		JU	claystones, sandstones, conglomerates	Claystones locally with carbonized admixture (eventually layers of coal) and sandstones with low strength, easily loosening (Perucian measures)	R4 – R6 F6/CI

**Lower Turonian sedimentation** –  $K_T$  (Bílá Hora measures) begins with a layer of homogeneous, pale gray clays passing to the cover of brown-yellow to gray-yellow claystones with plate jointing. This basal layer is 3–5 m thick. Above it there is a 2 m thick layer of sandy claystones to siltstones, which originated by decalcification of the original marlstones and limey siltstones in the zone of lower Turonian horizon of groundwater. There is a layer of solid marlstones to clayey limestones with maximal thickness of 13 m in the overburden. In direction to edges of the Cretaceous plateau, the thickness of clayey limestones decreases along with surface terrain below 5 m (Ládví station). Surface sections of the Bílá Hora measures are usually loosened and affected by periglacial frost penetration and covered by loess and solifluction loam.

In the section 13,4–14,2, **sandy sediments** of the Pliocene river terrace from the Zdíby stadium of the **Tertiary (T)** are preserved in the overburden of the Bílá Hora measures.

**Quaternary superficial deposits (Q)** are represented by eolic, deluvial and diluvial-fluvial deposits. Aeolian loess and loess loams comprise a vast areal sheet and reach a maximal thickness of 8 m. Diluvial, mainly loams and sands which originated by solifluction usually form a 1–2 thick layer on the base of loess complex, and unlike loess they have an increased portion of rock fragments. Deluviofluvial loams occur only locally in two outwash depressions. Anthropogenic deposits form mainly landfills within abandoned sand pits and road embankments with thickness up to 10 m.

Encountered soils and rocks have been classified according to their geomechanical properties into geotechnical types, as illustrated by the following table.

Table 2. Overview of geotechnical types (gt)

### Tektonické porušení křídových hornin

Komplex křídových sedimentů je uložen subhorizontálně s generálním mírným úklonem k severovýchodu až východu (do 5°). V uložení křídových vrstev se projevuje lokální zvlnění v rozpětí cca 2–3 m, způsobené sedimentací na nerovném erodovaném povrchu ordoviku. Ojedíněle se projevují i větší výškové rozdíly, způsobené patrně zlomy saxonské tectogeneze. Z archivní vrtné dokumentace byly zjištěny indicie možných zlomových poklesů o výšce skoku 5–6 m směru SZ-JV, které se projevují nejen v křídě, ale i v ordovickém podloží.

Pískovce i „opuky“ jsou nejčastěji porušeny 2 systémy párových subvertikálních puklin směru SZ-JV a SV-JZ. Tyto směry byly přednostně sledovány při podzemní těžbě písku, neboť podél puklin jsou pískovce zvětralé do větší hloubky.

### Hydrogeologické poměry

Oběh podzemní vody je v zájmovém území trasy metra vázán na dva obzory podzemní vody, které jsou od sebe odděleny izolantem jílu a jílovců báze spodního turonu. **Svrchní obzor** podzemní vody ve **spodnoturonských slínovcích gt typ SL** bělohorského souvrství, středně až silně rozpukaných, se vyskytuje téměř v celé trase. Horniny tohoto kolektoru jsou prostředím s puklinovou propustností (koeficient filtrace značně kolísá). Úroveň hladiny podzemní vody kolísá v rozmezí kót cca 283 až 273 m n. m. Nepropustné podloží zde není rovné a v závislosti na jeho modelaci se také mění mocnost zvodnění.

**Spodní obzor** podzemní vody v **cenomanských**, převážně slabě až středně rozpukaných **pískovcích gt typu P** (perucké a korycanské souvrství) vytváří středně, místy až silně propustný kolektor s výraznou puklinovou propustností a je vyvinut v celé trase metra. Preferenční zóny proudění podzemní vody představují subvertikální plochy nespojitosti (otevřené pukliny kvádrových pískovců). Mocnost zvodnění v cenomanských pískovcích je závislá na morfologii nepropustného ordovického podloží a na odtokových poměrech.

Hladina spodního cenomanského obzoru je tedy většinou 20–25 m (30 m) pod povrchem terénu, to je o 10–15 m hlouběji než hladina svrchního turonského obzoru a tedy 5–10 m pod bází izolantu. Pokládáme za značně pravděpodobné, že v celém území má spodní cenomanský obzor volnou hladinu podzemní vody.

### RAŽENÉ ÚSEKY TRASY IVC2

Přibližně polovinu z projektované trasy IVC2 představují ražené tunely. Jedná se o dva dvojkolejné tunely o délce 910 m a 1350 m (včetně přechodové dvojice jednokolejných tunelů v délce 65 m). Typická plocha výrubu je projektována cca 60 m<sup>2</sup> při šířce výrubu 10–12 m.

Geotechnické podmínky tunelování byly v závěrečné zprávě souhrnně zpracovány formou podélného geotechnického profilu, charakteristických geotechnických modelů a tabulky geotechnických podmínek se zařazením. Trasa je rozdělena v podélném profilu na geotechnické úseky, ve kterých jsou relativně konstantní podmínky ražby a primární výstroje. V podélném profilu je uveden soubor informací, hodnotících podmínky ražby (přítoky vody, stabilita výrubu), mimořádné okolnosti a vlivy a také výsledné zařazení dle NRTM. Při zpracování souboru výše uvedených informací byla použita klasifikace ČSN 721001 a účelově zpracované pracovní klasifikace pro pražské metro.

### Geologická, hydrogeologická a geotechnická situace ražených tunelů

Ražený dvojkolejný tunel **SO 09** (910 m, mocnost nadloží 10–20 m) navazuje na hloubenou předportálovou část **SO 08** (264 m) za stanicí Ládví z etapy IVC1 a končí před hloubenou stanicí Prosek I (SO 10).

Vrstevní sled v tomto stavebním oddíle je od povrchu tvořen kvarténními zemínami gt typu S, D a N, mocnost až 7 m. V oblasti západního portálu pak i gt typu T (mocnost max. 3 m). Další polohu tvoří horninový komplex gt typu SL mocnosti až 15 m. Horniny jsou různého stupně zpevnění, hustota diskontinuit je střední, místy až velká. Vrstevní sled ukončuje poloha jílu až jílovců – gt typ J mocnosti až 7 m. Nižle následují pískovce – gt typ GL (mocnost max. 2 m) a P. Střídají se polohy s různým stupněm diagenetického zpevnění, hustota diskontinuit je malá. Mocnost tohoto souvrství je větší než 10 m, báze zde nebyla průzkumem ověřována.

Obzor svrchní turonské zvodně vytváří pouze nesouvislý horizont podzemní vody, mocnost zvodnění je minimální. V celém území podél trasy SO 09 existuje spodní cenomanský obzor s hladinou v hloubce mezi 18–30 m pod terénem. Hladina se zde vyskytuje kolem 8 m pod úrovní stropního izolátoru, tvořeného turonskými jíly a jílovcí.

Přibližně polovina tunelu SO 09 bude tedy ražena v poměrně příznivých podmínkách geotechnického typu P, odpovídající převážně 3. třídě NRTM (lokálně 4. třídě). Druhá polovina ražby, včetně podchodu mimoúrovňového křížení (MÚK) dvouproudých komunikací Liberecká a Střelničná, proběhne převážně v 5. třídě NRTM, a to v důsledku výskytu problematického geotechnického typu J s maximální mocností ve výrubu právě v místě podchodu MÚK.

Ražený tunel v úseku SO 13 o celkové délce 1350 m (km 10,175–11,525) začíná u severního portálu (za stanicí Letňany), kde je projektována dvojice jednokolejných tunelů délky 65 m s projektovaným profilem výrubu o šířce cca 6,0 m a ploše 28–30 m<sup>2</sup>. V další části bude raženo 1285 m dvojkolejného tunelu o šířce výrubu cca 10 m a ploše cca 60 m<sup>2</sup>. V úseku přechodu z jednokolejných tunelů do dvojkolejných tunelů bude zvětšený profil výrubu (b = 10–12 m, F = 60–80 m<sup>2</sup>).

### Tectonic faulting of Cretaceous rocks

Complex of Cretaceous sediments is deposited sub-horizontally with generally slight dip towards northeast or east (5°). Local undulation with range of 2–3 m occurs in the deposits of the Cretaceous layers, caused by sedimentation on the rough weathered surface of the Ordovician. Rarely there are also higher altitude differences, probably caused by fractures of the Saxon tectogenesis. Archive records from the boring documentation suggest signs of potential gravity fault with superelevation of 5–6 m in the NW-SE direction, which take place not only in the Cretaceous, but also in the Ordovician underlier.

Sandstones and clayey limestones are mostly faulted by two systems of paired sub-vertical cracks in direction NW-SE and NE-SW. These directions were primarily monitored during the subsurface mining of sand, because along the fissures are the sandstones weathered up to greater depth.

### Hydrogeological conditions

Groundwater flow within the subway line's area of influence is bound to two groundwater horizons, which are from one another divided by insulation of clays and claystones of lower Turonian. **Upper groundwater horizon** in lower **Turonian marlstones gt type SL** of the Bílá Hora measures, with medium to high fracturing, occurs along the almost entire route. Rocks in this collector comprise an environment with fissure permeability (coefficient of filtration severely fluctuates). The groundwater level fluctuates between altitudes 283 and 273 meters above sea level. Impermeable underlier is not even, and in dependence on its morphology also the thickness of watering changes.

**Lower groundwater horizon in Cenomanian**, mainly with low to medium fracturing, **sandstones gt type P** (Perucian and Korycanian measures) forms a medium, locally even highly permeable collector with high fissure permeability and is developed along the entire tunnel line. Preferential zones of groundwater flows represents sub-vertical areas of discontinuity (open fissures of thick-bedded sandstones). Thickness of watering in the Cenomanian sandstones is dependent on morphology of the impermeable Ordovician underlier and on the draining conditions.

Level of the lower Cenomanian horizon is therefore mostly 20–25 m below the surface, and that 10–15 m deeper than level of the upper Turonian horizon and thus 5–10 below the insulation base. We consider highly probable, that throughout the entire area the lower Cenomanian horizon has a free groundwater level.

### MINED SECTIONS OF THE LINE IVC2

Mined tunnels represent approximately one half of the designed line IVC2. These are two double-track tunnel in lengths of 910 m and 1350 m (including a pair of transition single-track tunnels in length of 65 m). Typical cross profile of app. 60 m<sup>2</sup>, 10–20 m wide is designed.

Geotechnical conditions of tunneling have been summarily elaborated in the final report by means of the longitudinal geotechnical profile, characteristic geotechnical models and tables with geotechnical conditions with classification. In the longitudinal profile, the route is divided into geotechnical sections, which experience relatively constant conditions for excavation as well as primary equipment. In every longitudinal profile, it shows a file of information, evaluating the excavation conditions (water inflows, stability of the excavation), special circumstances and impacts as well as final classification according to NATM. During elaboration of the file of aforementioned information, a classification of ČSN 721001 and particularly elaborated operational classification for Prague subway have been used.

### Geological, hydrogeological and geotechnical situation of the mined tunnels

Mined double-track tunnel **SO 09** (910 m, overburden thickness 10–20 m) links on the cut-and-cover pre-portal section **SO 08** (264 m) behind the Ládví station of phase IVC1 and ends in front of the cut-and-cover station Prosek I (SO 10).

Layer sequence in this construction section from the surface consists of Quaternary soils gt type S, D and N with thickness of up to 7 m, in area around the western portal then also type T (thickness of up to 3 m). Another layer is formed by rock complex gt type SL with thickness of up to 15 m. Rock are in various degree of solidification, the density of discontinuities is medium, locally high. The layer sequence is terminated by a layer of clays to claystones – gt type GL (thickness of up to 2 m) and P. Layers with various degrees of diagenetic solidification are alternating, the density of discontinuities is low. Thickness of this series of measures is not larger than 10 m; base has not been the subject of the exploration.

Horizon of the upper Turonian watering forms only a discontinuous groundwater horizon, the thickness of watering is minimal. There is a lower Cenomanian horizon with level in depth between 18 and 30 m below surface along the entire route of SO 09. The level occurs about 8 m below level of the top insulator, formed by Turonian clays and claystones.

Approximately one half of the SO 09 tunnel will be thus excavated in favorable conditions of the geotechnical type P, corresponding to mainly class 3 of the NATM (locally class 4). Second part of the excavation, including underpassage of the elevated crossing (EC) of two-lane roads Liberecká and Střelničná, will proceed mostly in class 5 of the NATM and thus as a result of occurrence of the problematic geotechnical type J with maximal thickness in the excavation exactly at the spot of underpassage of the EC.



Ve střední části tunelového úseku je projektována „přístupová štola“, která se napojuje na traťový tunel v km 10,732, délka štoly je 35 m. Před portálem štoly bude otevřena sjezdová rampa délky cca 100 m tvořená zářezem hlubokým až 16 m, v půdorysu tvaru písmene „U“. Ražená část tunelu končí portálem před stanicí Prosek II. Mocnost nadloží v úseku SO 13 kolísá v rozpětí 7 až 16 m.

V úseku SO 13 je vrstevní sled v zásadě obdobný jako v SO 09 a je od povrchu tvořen kvarténními zeminami gt typu S, D a N o mocnosti od 2 do 5 m. Další polohu tvoří horninový komplex gt typu SL (slínovce), celková mocnost kolísá od 5 m do 9 m. Vrstevní sled bělohorského souvrství ukončuje poloha gt typu J, homogenních, světle šedých jíílů až žlutosedých jíilovců destičkovitě odlučných, o stabilní mocnosti  $4 \pm 1$  m. Niže následují pískovce korycanského souvrství, tvořené gt typy GL a P. Gt typ GL je tvořen polohou glaukonitického jíilovitého pískovce o mocnosti 1–2 m. Gt typ P je tvořen souvrstvím pískovců o mocnosti 10–15 m. Pískovce korycanského souvrství jsou zde křemenné, převážně jemnozrné až nestejnozrné. V subhorizontálních vrstvách mocnosti několika metrů se střídají polohy s různým stupněm diagenetického zpevnění a pevnosti (R3-R4). Lokální měkčí polohy jsou drodivé a snadno rozpadavé na písek. Hustota diskontinuit je malá, hornina má blokovitou až kvádřovitou odlučnost se dvěma hlavními subvertikálními systémy puklin, navzájem téměř kolmými (základní, převládající směry SZ-JV a SV-JZ). Třetí systém tvoří subhorizontální vrstevní plochy. V km 11,200 se trasa přibližuje k horní hraně strmého okraje křídové plošiny na minimální vzdálenost 100 m. Nedaleký strmý svah je zde porušen fosilními pleistocenními blokovými pohyby. Blokově rozvolněný okraj pískovců se pohyboval po plastických podložních jílech peruckých vrstev či rozložených ordovických břidlicích. Blokové deformace v kvádřovitých pískovcích (gt typ P) se projevovaly nad okrajem plošiny širokým rozvěvením existujících subvertikálních diskontinuit mezi bloky pískovce, a to často na celou mocnost souvrství (rozvěvení v rozpětí 0,2–0,5 m, výjimečně i kolem 1 m, místy s hlinito-kamenitou výplní). Toto rozvěvení puklin může zasahovat do vzdálenosti až  $100 \pm 20$  m od horního okraje plošiny. Gt typ JU (bazální křídové souvrství) v podobě jíílů, jíilovců se střídáním pískovců byl v tomto SO ověřen v km 10,300–11,000, přičemž jeho mocnost (cca 6 m) byla ověřena pouze některými archivními vrty. Strop polohy předpokládáme v celém SO stabilně na kótě  $259 \pm 1$  m n. m. Jedná se o uhelné jíily s lokálními slojkami uhlí, které byly v širším zájmovém území místy dobývány hlubinným způsobem.

Místní hydrogeologické poměry jsou v SO 13 trasy metra IVC2 značně složité a také dosti variabilní. Ke složitosti významnou měrou přispívají i antropogenní faktory (důlní činnost, velké množství vrtů z minulého století a kontaminace podzemní vody v areálu bývalého ČSAD Klíčův). Voda vytváří dva obzory podzemní vody v křídových horninách, pro oba je typický puklinový režim proudění. I. svrchní obzor je vázán na turonské slínovce a vápence, II. spodní obzor existuje v cenomanských pískovcích.

Svrchní turonský obzor podzemní vody existuje ve slínovcích (gt typ SL) a je vyvinut jako souvislý horizont v celé délce trasy tunelů v SO 13. Hladina podzemní vody je v hloubce 6–10 m. V okolí km 10,400 trasy existuje hydrogeologická rozvodnice mezi povodím Labe a Vltavy (hladina podzemní vody na kótě cca 277 m). Mocnost zvodnění v severní části trasy je 3–7 m, v jihozápadní a západní části trasy je mocnost zvodnělé vrstvy do 1 m. Jedná se o prostředí s puklinovou propustností, která je velmi proměnlivá. Podzemní voda není agresivní na stavební materiály. Bázi turonského obzoru tvoří jíilovce a jíily gt typu J, které vytvářejí funkční izolant.

Spodní cenomanský obzor podzemní vody je vyvinut v cenomanských kvádřovitých pískovcích a vytváří souvislý horizont v hloubce kolem 20 m pod teréne. Hladina je na kótě cca 260 m a má zcela minimální spád. O poloze hladiny je k dispozici minimum informací. Volná hladina podzemní vody tohoto obzoru leží pod úrovní projektovaných tunelů. Pouze výjimečně může dno tunelového výrubu zasáhnout do tohoto horizontu v nejnižších úsecích nivelety. V této souvislosti je třeba upozornit na skutečnost, že v areálu bývalého ČSAD Klíčův existuje kolem



Obr. 1 Situace trasy metra IVC2

Fig. 1 Situation of the subway line IVC2

Mined tunnel in section SO 13 in total length of 1350 m (km 10.175–11.525) begins at the northern portal (behind the station Letňany), where a pair of 65 m long single-track tunnels with excavated cross profile of 28–30 m<sup>2</sup>, app. 6 m wide, is designed. In the next section, 1285 m of a double-track tunnel with app. 10 m wide excavation and cross profile of 60 m<sup>2</sup> will be excavated. In section of passing of the single-track tunnels into double-track one, there will be an augmented profile of the excavation ( $b = 10\text{--}12$  m,  $F = 60\text{--}80$  m<sup>2</sup>). An "access adit" is being designed for middle section of the tunnel route, which would connect to the running tunnel at km 10.732. The adit is 35 m long. An app. 100 m long exit ramp will be opened in front of the adit portal, it will be formed by up to 16 m deep cut, with ground plan in shape of the letter "U". Mined part of the tunnel ends with portal in front of the station Prosek II. Thickness of the overburden in section SO 13 fluctuates between 7 and 16 m.

Section SO 13 experiences a similar layer sequence as the SO 09 and from the surface it is formed by Quaternary soils gt type S, D and N with thickness from 2 to 5 m. Next layer consists of complex gt type SL (marlstones), total thickness fluctuates between 5 and 9 m. Layer sequence of the Bílá Hora measures is terminated by a 4m thick layer of laminated gt type J, homogeneous pale gray clays to yellow-gray claystones. Lower there are sandstones of the Korycanian measures, formed by gt types GL and P. Gt type GL is formed by a layer of glauconitized clayey sandstone with thickness of 1–2 m. Gt type P is formed by a series of measures of sandstones with thickness 10–15 m. These sandstones of the Korycanian series of measures are quartziferous, mostly fine-grained to variegated. Within sub-horizontal layers with thickness of several meters, layers with a various degree of diagenetic solidification and strength (R3-R4) alternate. Locally softer layers are crumbling and easily loosening to sand. The density of discontinuities is low, the rock has a thick-bedded to rectangular jointing with two main sub-vertical systems of fissures, almost perpendicular to one another (basic, predominant dip towards NW-SE and NE-SW). The third system is formed by sub-horizontal layer areas. At km 11.200, the line comes as close as 100 m to upper rim of a sharp edge of the Cretaceous plateau. The neighboring precipice is here faulted by fossil Pleistocene block movements. The edge of sandstones loosened into blocks moved on the plastic underlying clays of Perucian measures or decomposed Ordovician shales. Blocks deformation within rectangular sandstones (gt type P) proved above the plateau edge by wide outstretching of the existing sub-vertical discontinuities among sandstones blocks, and usually throughout the entire thickness of the series of measures (outstretching between 0,2 and 0,5 m, rarely up to 1 m, locally with sand-gravel filling). This fissure outstretching can penetrate up to  $100 \pm 20$  m away from upper edge of the plateau. Gt type JU (basal Cretaceous series of measures), represented by clays, and claystones alternating with sandstones, was confirmed in this SO between km 10.300 and 11.000, while its thickness (app. 6 m) was confirmed only by several recorded bores. We estimate the layer top to be stable in the entire SO in the altitude of 259 m above the sea level. It is formed by carbonized clays with local thin streaks of coal, which had been in the wider area of interest locally gained by deep mining.

Local hydrogeological conditions in SO 13 of the tunnel line IVC2 are very complicated and also very variable. Anthropogenic factors (mining activity, large amount of bores from the previous century and contamination of groundwater below the former bus depot CSAD Klíčův) significantly contribute to these complications. Water forms two groundwater horizons in Cretaceous rocks; fissure currents are typical for both. I. upper horizon is bound to Turonian marlstones and limestones, II. lower horizon occurs in Cenomanian sandstones.

The upper Turonian groundwater horizon occurs in marlstones (gt type SL) and is developed as a continuous horizon along the entire tunnel routes in SO 13. The groundwater level is in depth of 6–10 m. At km 10.400 of the route, there is a hydrogeological dividing point between the river basin of the Labe and Vltava rivers (groundwater level in altitude of app. 277 m). Thickness of watering in the northern route section is 3–7 m, in southwestern and western route section the water layer is up to 1 m thick. It is an environment with fissure permeability, which is very variable. Groundwater is not aggressive towards construction materials. Base of the Turonian horizon is formed by claystones and clays gt type J, which form a functioning insulator.

The lower Cenomanian groundwater horizon is developed in rectangular sandstones and forms a continuous horizon in depth of app. 20 m below surface. The level is in altitude of app. 260 m and has only a minimal gradient. There is very little information about position of the level. Free level of groundwater in this horizon lies below level of the designed tunnels. Only exceptionally can the bottom of the tunnel excavation interfere with this horizon in lowest sections of the elevation. In this context it is necessary to mention the fact, that there are about hundred various old bores in area of the former bus depot CSAD Klíčův, mostly 25–30 m deep, which connect both hydrogeological groundwater horizons. These are old exploratory bores, which have not likely been sealed by capping (age of bores 30–35 years). Therefore it cannot be neglected, that some bores might be encountered by the tunnel excavation and thus an unexpected water effluence would occur.

There is a somber reality in contamination of groundwater with petroleum derivatives in area of the bus depot CSAD Klíčův and below Dopravní podnik. Geotechnical conditions of the SO 13 structure (see Fig. 2) are significantly

stovky různých vrstev, hlubokých většinou více než 25–30 m, které propojují oba hydrogeologické obzory podzemní vody. Jedná se o staré průzkumné vrty, které pravděpodobně nebyly uzavřeny tamponáží (stáří vrstev 30–35 let). Nelze vyloučit, že některé vrty mohou být zastíženy tunelovým výrubem a že by mohlo dojít k nečekanému výronu vody.

Závažnou skutečností je kontaminace podzemní vody ropnými deriváty v oblasti areálu ČSAD Klíčov a pod areálem Dopravního podniku.

Geotechnické podmínky stavby SO 13 (viz obr. 2) výrazně ovlivňuje heterogenita horninového prostředí. V celé trase jsou dominantní geotechnické typy SL, J a GL+P. Gt typy SL a GL+P mají poměrně příznivé vlastnosti. Tvoří víceméně kompaktní horninový masiv z relativně pevných hornin se třemi dominantními puklinovými systémy (2 subvertikální a 1 subhorizontální). Přetvárné vlastnosti i smyková pevnost jsou vcelku příznivé. Stabilitní chování ve výrubu oceňujeme stupněm 3, u slínovců lokálně 3–4, u pískovců naopak 2–3.

Do území s určitým rizikem výskytu otevřených puklin v gt typu P se trasa dostává v úseku km 11,100–11,200 a menší doznívání tohoto jevu nelze vyloučit v celém úseku mezi km zhruba 10,700–11,300. Při ražbě by mohly tyto pukliny nepříznivě ovlivnit stabilitu výrubu a rovněž by mohly přispět ke zvětšení indukovaných deformací v nadloží se zástavbou.

Pokud bude ražba tunelů probíhat v gt typech SL nebo P (bez významné přítomnosti gt typu J v aktivní zóně výrubu), platí zařazení do 3.–4. třídy NRTM. V případě ražby v gt typu P nad hladinou podzemní vody cenomanského obzoru (což je převládající situace) by se jednalo převážně o 3. třídu.

Naopak gt typ J má nepříznivé vlastnosti. Jedná se o jíly převážně pevné konzistence až jílovce extrémně nízké pevnosti (< 1,5 MPa). Tomu odpovídá malá pevnost ve smyku a nepříznivé přetvárné vlastnosti.

Podmínky ražby v jílovcích a jílech nepříznivě ovlivňuje existence svrchního turonského obzoru podzemní vody v nadloží gt typu J. To platí pro celou trasu SO 13. Z vlastností hornin a přítomnosti vody v bezprostředním nadloží vyplývá problematická stabilita výrubu v gt typu J, a to zejména pokud se jílovce budou vyskytovat v oblasti stropní klenby výrubu, resp. v horní polovině tunelu. Proto stabilitní chování gt typu J ve výrubu oceňujeme stupněm 4 (až 5). Pro tunelování v tomto geotechnickém typu je třeba uvažovat 5. třídu NRTM.

V převážné části trasy SO 13 budou výrubem tunelu zastíženy vždy dva geotechnické typy hornin diametrálně odlišných vlastností (a to buď typy SL a J, nebo J a GL+P), což znamená méně příznivé geotechnické podmínky ražby, a proto zařazujeme tuto část do 4.–5. třídy NRTM. Předpokládáme zásadní rozdíl mezi chováním horninového prostředí v horní části výrubu (kalota, klenba) a v dolní části výrubu (dobírka dna, resp. spodní klenba). Pouze v km 10,530–11,000 bude ražba probíhat v gt typech GL a P a gt typ J bude v aktivní zóně nad stropem výrubu, v důsledku toho jsou zde relativně nejpríznivější geotechnické podmínky tunelování (zařazení NRTM: 3. a 4. třída).

influenced by heterogeneity of the rock environment. Geotechnical types SL, J and GL+P are predominant along the entire tunnel route. Gt types SL and GL+P have relatively favorable properties. They form a more or less compact rock massif of relatively solid rocks with three major fissure systems (two sub-vertical and one sub-horizontal). Mutability properties as well as shear strength are rather favorable. We evaluate stability properties in the excavation by grade 3, locally 3-4 for marlstones and 2-3 for sandstones.

There is an area with a certain level of risk of occurrence of opened fissures in gt type P between the line km 11.100 and 11.200 and lower version of this phenomenon cannot be excluded in the entire line section between km 10.700 and 11.300. The fissures could negatively influence stability of the excavation and could also contribute to greater induced deformations in the overburden with structures.

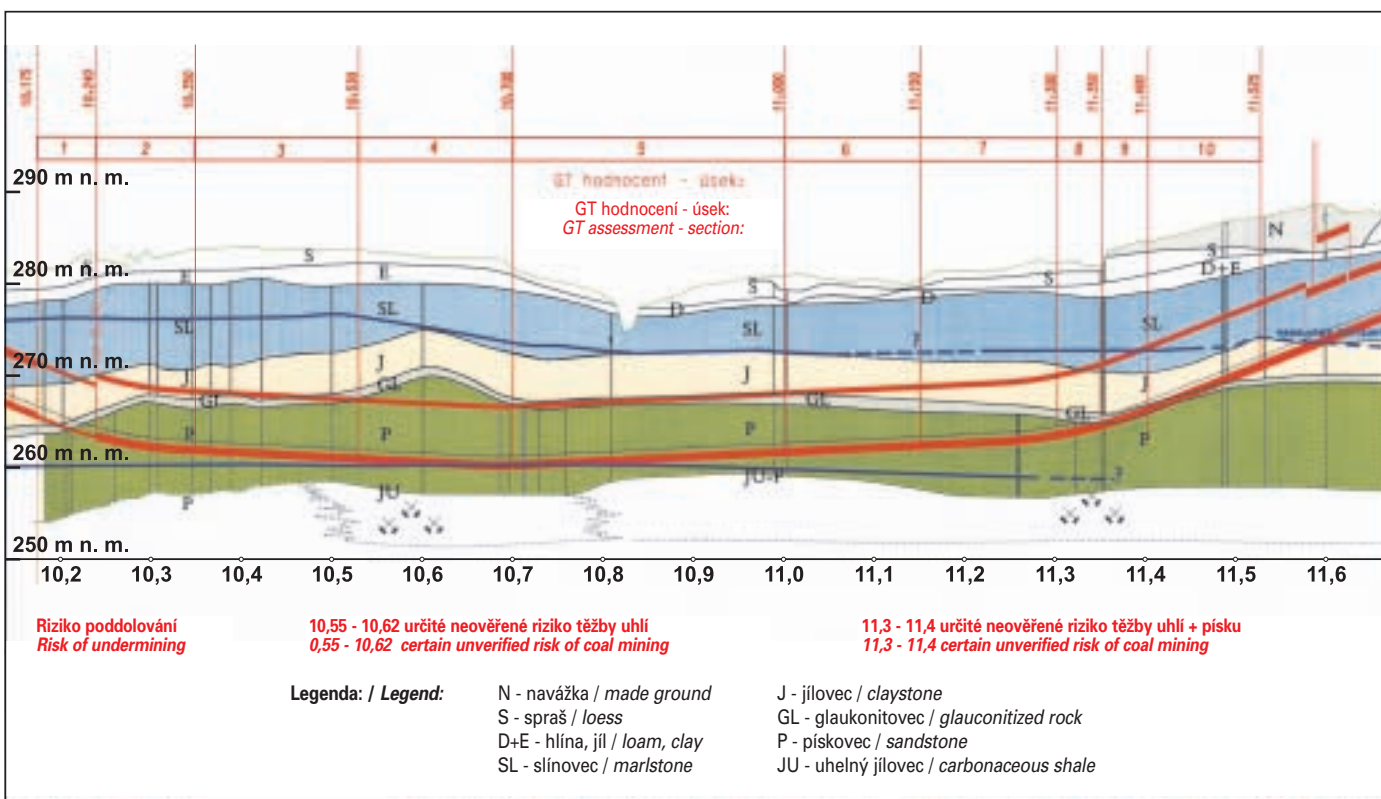
In case the excavation will proceed in gt types SL and P (without significant occurrence of gt type J within active zone of the excavation), class 3-4 of the NATM applies. In case of excavation in gt type P above the groundwater level of the Cenomanian horizon (which is the predominant setting), mostly class 3 would apply.

On the other hand, gt type J bears unfavorable properties. It mostly concerns clays of mainly solid consistence to claystones of extremely low strength (< 1,5 MPa). That corresponds to low shear strength and unfavorable stress-strain properties.

Excavation conditions in claystones and clays are negatively influenced by occurrence of the upper Turonian groundwater horizon gt type J in the overburden. That applies for the entire route of SO 13. A rather problematic stability of the excavation in gt type J derives from the rock properties and presence of water in the immediate overburden and especially should the claystones occur in area of top vault of the excavation, i.e. in upper half of the tunnel. Therefore, we evaluate stability properties of gt type J in the excavation by grade 4 (even 5). It is necessary to consider NATM class 5 for tunneling in this geotechnical type.

The tunnel excavation in major section of the SO 13 will encounter always two geotechnical types with utterly different properties (either types SL and J, or J and GL+P), and that means less favorable geotechnical conditions for excavation and therefore we file this section within the 4.-5. NATM class. We assume a fundamental difference in properties of rock environment in the upper (calotte, vault) and lower part of the excavated cross section (bottom, i.e. the invert). Only km 10.350–11.000 will experience excavation in gt types GL and P while the gt type J will be active in zone above top of the excavation, thus as a result here will be the most favorable geotechnical conditions for tunneling (NATM classification : 3. and 4. class)

Water inflows from the upper Turonian horizon, which occurs mainly in upper section of the excavation or immediate overburden, will be important for the tunneling. Within middle section of the mined tunnels, the base of Turonian collector is separated from the excavation by a layer of claystones and clays.



Obr. 2 Geotechnické hodnocení podmínek tunelování SO 13

Fig. 2 Geotechnical evaluation of conditions for tunneling in SO 13



Významné pro tunelování budou přítoky podzemní vody ze svrchního turowského obzoru, který se vyskytuje převážně v horní části výrubu nebo v bezprostředním nadloží. Ve střední části úseku ražených tunelů je báze turowského kolektoru oddělena od výrubu vrstvou jílovců a jílu. Pokud nedojde ke vzniku větších stropních nadvylomů, budou přítoky podzemní vody z nadloží pouze ojedinělé.

V souvislosti se známým výskytem rozsáhlých podzemních prostor po těžbě pískovců, situovaných při okraji prosecké plošiny, byla v rámci doplňkového průzkumu zpracována podrobná báňsko-historická a geologická studie k této problematice. Zásadní závěry této studie ve vztahu k ražbě tunelů v SO 13 jsou následující:

a) Poddolování v km cca 10,550–10,620 na Klíčově.

V r. 1864 byla zřízena důlní míra se záměrem těžby uhlí v uhelných jílovcích, které zde jsou v hloubce 25–30 m, čili více než 3 m pode dnem tunelového výrubu. S největší pravděpodobností zde kutání nebo i dolování bylo zahájeno, ale o jeho rozsahu nebyly v archívech zjištěny žádné další informace. Považujeme za pravděpodobné, že rozsah dobývání nebyl příliš velký.

b) Geofyzikální anomálie v úseku mezi km 11,300–11,400.

Při studiu archívních podkladů o důlní činnosti bylo zjištěno, že v místech geofyzikální anomálie zjištěné geofyzikálním průzkumem v r. 2001 je zaznamenáno vyhrazené kutiště na uhlí. Shoda těchto dvou informací naznačuje, že zde skutečně nelze vyloučit důlní činnost. V tomto případě by se mohlo jednat o pokus těžby uhelných jílovců. Nelze ale vyloučit, že v místě (neúspěšného?) kutání na uhlí došlo později také k těžbě písku, a to podobného charakteru, jako na nedalekých lokalitách Krocínka a Močálka. Rizika, která souvisejí s možným porušením horninového masivu, bude třeba při ražbě tunelu respektovat.

V úseku trasy km cca 11,300–11,400 dochází k velmi nepříznivé kumulaci dvou mimořádných vlivů: určitého, nedostatečně ověřeného rizika poddolování a rizika přidatného sedání v důsledku snížení hladiny podzemní vody. V trase metra existuje zástavba obytných domů ve Stoupající a Satalické ulici, přičemž objekt č. p. 785 a č. p. 786 ve Stoupající ulici má velmi problematický technický stav. Jedná se o složité a nejasné konstrukční řešení, problematickou kvalitou stavebních prací, nevhodné zatížení střešní terasy „zahradou“ – následně došlo k porušení jižní části objektu trhlinami a k sanaci metodou tryskové injektáže. Tč. je jižní část objektu založena na pasech, podepřených sloupy tryskové injektáže, kdežto severní část je na původních základových pasech. Ze stavebně-technického průzkumu jsme dospěli k závěru, že deformační odolnost objektu je v podstatě vyčerpána (objem vytěžené horniny v rostlém stavu bude 250 000 až 300 000 m<sup>3</sup>). Jáma bude otevřena v několika geotechnických typech a zahlobena 6–8 m pod hladinu podzemní vody. Nezbyvá než konstatovat, že se jedná o velmi náročné stavební dílo a to nejenom co do rozměrů díla, ale zejména co do málo příznivých geotechnických podmínek realizace.

## HLOUBENÉ ÚSEKY TRASY IVC2

Střední část trasy IVC2 tvoří tři hloubené stavební oddíly: mezistaniční úsek **SO 11** (794 m) a k němu přilehlé hloubené stanice **Prosek I (SO 10, 211 m)** a **Prosek II (SO 12, 204 m)**.

Zvláštní pozornost zasluhuje hloubená stanice **Letňany (SO 14)**. Jedná se o stavební oddíl, který zahrnuje stavbu stanice Letňany, stavbu hloubených tunelů před stanicí a stavbu hloubených tunelů odstavných kolejí. Bude zde otevřena stavební jáma mimořádných rozměrů o délce v úrovni nivelety 580 m, hloubce převážně 12–14 m (u portálu ražených tunelů až 17,5 m). Šířka jámy v úrovni dna výkopu bude většinou 17–25 m, místy bude ještě větší. Šířka stavební jámy v úrovni terénu dosahuje kolem 50 m, v místech sjezdových ramp je ještě větší. Velikosti a rozměry se jedná o jednu z největších stavebních jam v historii českého stavebnictví (objem vytěžené horniny v rostlém stavu bude 250 000 až 300 000 m<sup>3</sup>). Jáma bude otevřena v několika geotechnických typech a zahlobena 6–8 m pod hladinu podzemní vody. Nezbyvá než konstatovat, že se jedná o velmi náročné stavební dílo a to nejenom co do rozměrů díla, ale zejména co do málo příznivých geotechnických podmínek realizace.

## ZÁVĚRY PRŮZKUMU

Geotechnické podmínky hloubených objektů jsou převážně příznivé, pouze **SO 14**, tj. úsek hloubených tunelů se stanicí Letňany má dosti složité a málo příznivé geotechnické podmínky, které odpovídají 3. geotechnické kategorii.

Trasa dvou ražených tunelů má značně proměnlivé geotechnické podmínky tunelování. Trasa byla rozdělena do kvazi-homogenních geotechnických úseků s přibližně stejnými podmínkami tunelování. Tunelové úseky byly zařazeny do tříd NRTM následovně:

3. třída NRTM ..... celková délka 348 m, tj. 15,4 %

4. třída NRTM ..... celková délka 1 233,5 m, tj. 54,6 %

5. třída NRTM ..... celková délka 678,5 m, tj. 30,0 %

Objekty ražených tunelů v celé trase (SO 09, SO 13) jsme zařadili do 3. kategorie podzemních objektů ve smyslu ČSN 73 7501. Jedná se o náročné konstrukce ve složitých geotechnických podmínkách.

Stavba úseku trasy metra IVC2 představuje velmi náročnou inženýrskou stavbu v proměnlivých a místy značně nepříznivých geotechnických podmínkách. Pro úspěšnou realizaci stavby bude nezbytná úzká spolupráce mezi investorem, projektantem, zhotovitelem stavby a geotechnikem, a to nejen ve fázi závěrečné přípravy stavby, ale i při vlastní realizaci.

*In case there will be no larger overbreaks at the top, groundwater inflows from the overburden will be rare.*

*Due to known occurrence of vast underground chambers left from the mining of sandstones, located at the edge of the Prosek plateau, a detailed mining-historic and geological study on this issue was elaborated as part of the additional exploration. The following are basic conclusions of this study in relation to tunnel excavations in SO 13:*

*a) Undermining at km app. 10.550–10.620 at Klíčově.*

*In 1864, a mining gauge was determined with a purpose of mining coal from the carbonized claystones, which in this place lay in depth of 25–30 m, i.e. more than 3 m below bottom of the tunnel excavation. Burrowing or even mining had been also most likely started, but no other archive records of its extent have been found. We consider it likely, that extent of the mining had not been large.*

*b) Geophysical anomalies in section between km 11.300 and 11.400.*

*By studying of archive records about the mining activity it was revealed, that there is specified burrowing location of coal in places where the exploration discovered geophysical anomalies in 2001. Such coincidence suggests, that the mining activity cannot really be neglected after all. In such case, it might have been an experimental mining of carbonized claystones. It cannot be ruled out, however, that the place of (unsuccessful?) coal burrowing later experienced a mining of sands of similar properties as in the adjacent localities Krocínka and Močálka. Risks, connected with potential faulting of the rock massif, will have to be taken in to consideration during the tunnel excavation.*

*Line section km app. 11.300–11.400 experiences a very unfavorable accumulation of two extraordinary impacts: certain, insufficiently verified level of risk of undermining and the risk of additional settlement due to lowering of the groundwater level. There is a group of residential housed along the tunnel route in streets Stoupající and Satalická, while structures no. 785 and no. 786 in the Stoupající street are in very problematic technical condition. It concerns complicated and unclear framework solution, questionable quality of the engineering works, inadequate burdening of the roof terrace with a "garden" – the structure was subsequently damaged by fractures at its southern side and treated by jet grouting. At the time, southern side of the structure is founded on foundation strips, supported by pillars of jet grouting, while its northern side still stands on the original foundation strips. Engineering technical exploration led us to conclusion, that deformation stability of this structure is almost exhausted and we evaluate it with degree 4 (even 5) according to the operational classification. There is a significant risk of occurrence of intolerable deformation impacts on the aforementioned structure. Therefore, we classified this section (km 11.300–11.350) into special NATM class, called 5S.*

## CUT-AND-COVER SECTIONS OF THE LINE IVC2

*Middle part of the line IVC2 is formed by three cut-and-cover project sections: interstation section SO 11 (794 m) and adjacent cut-and-cover stations Prosek I (SO 10, 211 m) and Prosek II (SO 12, 204 m).*

*Special attention is to be paid to cut-and-cover station Letňany (SO 14). It is a project section, which includes construction of the Letňany station, construction of cut-and-cover stations in front of the tunnel and construction of cut-and-cover tunnels for dead-end tracks. There will be a construction cut of rare dimensions opened, with length of 580 m in the elevation level, in depth of mainly 12–14 m (up to 17,5 m at portals of the mined tunnels). The cut will be mainly 17–25 m wide at the bottom level, locally even larger. It will be app. 50 m wide at the surface level and even larger in places of the exit ramps. Judged its size and dimensions, this will be one of the largest open cuts in the history of Czech civil engineering (the volume of natural mined rock will be 250 000 to 300 000 m<sup>3</sup>). The cut will be opened in several geotechnical types and located 6–8 m below the groundwater level. There is nothing left but to state, that it will be a very demanding engineering work not only due to its dimensions, but also as far as hardly favorable geotechnical conditions for realization are concerned.*

## EXPLORATION CONCLUSIONS

*Geotechnical conditions of the cut-and-cover structures are mainly favorable, only SO 14, i.e. the section of cut-and-cover tunnels with station Letňany, experiences complicated and less favorable geotechnical conditions, which correspond to the 3. geotechnical class.*

*Route of the two mined tunnels experiences very variable geotechnical conditions for tunneling. The route was divided into quasi-homogeneous geotechnical sections with approximately identical conditions for tunneling. Following are the classifications of tunnel sections into the NATM classes:*

*3. class NATM ..... total length of 348 m, i.e. 15,4 %*

*4. class NATM ..... total length of 1 233,5 m, i.e. 54,6 %*

*5. class NATM ..... total length of 678,5 m, i.e. 30,0 %*

*We have classified mined tunnels along the entire route (SO 09, SO 13) into class 3 of underground structures in accordance with ČSN 73 7501. They are demanding constructions within complicated geotechnical conditions.*

*Construction of the subway section IVC2 represents a very demanding civil engineering work in variable and locally very unfavorable geotechnical conditions. Close cooperation between the client, designer, contractor as well geotechnical supervisor will be essential for successful realization of the structure, and not only during final preparation of the work, but also during the work execution.*

## SANACE STARÝCH A OPUŠTĚNÝCH DŮLNÍCH DĚL A JEJICH GEOTECHNICKÉ PROBLÉMY

### TREATMENT OF OLD AND ABANDONED MINING STRUCTURES AND THEIR GEOTECHNICAL PROBLEMS

ING. MARTIN ŠEFRNA, STAVEBNÍ GEOLOGIE – GEOTECHNIKA, a. s.

#### ÚVOD

Při hlubinném dobývání rudných i nerudných nerostných surovin vznikaly zejména v minulosti v podzemí vydobyté prostory. V důsledku přímých a nepřímých rozvolňovacích procesů pak dochází v jejich nadloží k propadům a poklesům povrchu. Rychlost postupu rozvolňovacích procesů a možnost vzniku uvedených deformací na povrchu jsou ovlivněny mnoha faktory. Jedná se zejména o velikost, tvar a hloubku vydobytých prostor, mocnost, geomechanické vlastnosti a porušenost nadložního horninového masívu. Velikost těchto deformací na povrchu je závislá, kromě již uvedených skutečností, také na plošném a hloubkovém rozsahu vydobytých prostor, způsobu jejich založení (základky suché, plavené) a na případném rozsahu zavalení těchto prostor.

Existence vydobytých prostor v řadě případů ohrožuje stabilitu povrchu náhlými propady a nerovnoměrnými poklesy, jež jsou způsobené postupem rozvolňovacích procesů do nadloží vydobytých prostor. V zastavěných oblastech a v oblastech s projektovanou výstavbou (např. nových liniových staveb) na poddolovaném území je stupeň nebezpečnosti těchto deformací významný, viz. obr. 1. Deformace vyvolané vydobytými prostory v podloží mohou omezit nebo zcela znemožnit využívání pozemních, podzemních a liniových staveb pro účely, ke kterým byly zřízeny.



Obr. 1 Propad silnice I/18 v Příbrami naproti zdravotnickému středisku  
Fig. 1 Subsidence of road I/18 in Příbram across the medical center



Obr. 2 Geotechnický vrtný průzkum rozsahu poddolování v podloží železniční tratě Plzeň – Cheb  
Fig. 2 Geotechnical boring exploration of the extent of undermining underneath the railway track Plzeň – Cheb

#### INTRODUCTION

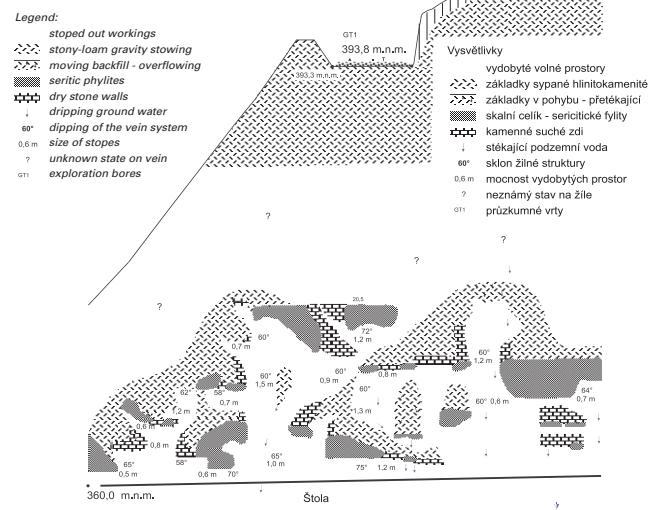
Especially in the past, stoped-out workings arose following a subsurface mining of ores as well as non-metallic mineral resources. Subsidence of the overburden and terrain settlement took place as a result of direct and indirect loosening processes. Advancing speed of the loosening processes and possibility of occurrence of the aforementioned surface deformations depend on many factors. To these belong mainly size, shape and depth of the stopes and thickness, geomechanical attributes a level of faulting of the overburden rock massif. Beside these facts, size of these surface deformations also depends on the areal and depth extent of the stopes, method of their backfilling (dry backfill, flushing) and the eventual extent of caving in of the these spaces.

The existence of stoped-out workings in many cases threatens the surface stability with sudden subsidences and unsteady settlements, which are caused by advance of the loosening processes in the overburden of stopes. Residential areas and areas with planned constructions (for instance new linear structures) built in undermined areas bear a significant level of risk of these deformations, see Fig. 1. Deformations caused by stoped-out workings underneath can either restrict or outright prevent the use of surface, underground and linear structures to purposes for which they had been constructed.

#### GEOTECHNICAL EXPLORATION

Areal and depth extent and shape of the stoped-out workings depends mainly of genetic type (sedimentary, metamorphogeneous, hydrothermal etc.) and quality of the deposit (metal content, amount of resources). Based on these factors, the method of deposit development and mining convenient for mining of the given mineral resource was selected in the past. This knowledge is required for preliminary estimate of the extent and shape of the stopes as well as for geotechnical exploration. In many cases it is thus essential to be aware of accurate areal and depth extent of the undermining and thickness and quality of rock massif in the overburden of a particular structure. Based on such

Železniční zářez Plzeň – Cheb  
Open cut for the Pilsen – Cheb railroad track



Obr. 3 Příčný GT řez podložím železničního zářezu; vydobytá a založená prostory na žilné struktúře v podloží železniční tratě Plzeň – Cheb (dokumentace přístupných důlních děl)

Fig. 3 GT cross section through the bedrock underneath the railway track cut; worked out and backfilled spaces within a vein system in the bedrock underneath the railway track Plzeň – Cheb (documentation of the accessible mining structures)



## GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM

Plošný, hloubkový rozsah a tvar vydobytých prostor jsou závislé především na genetickém typu ložiska (sedimentární, metamorfogenní, hydrotermální, apod.) a bilančnosti ložiska (kovnatost, množství zásob). V závislosti na těchto faktorech byly v minulosti voleny způsob rozfárání ložiska a dobývací metoda vhodná pro těžbu nerostné suroviny. Znalost těchto informací je potřebná pro předběžný odhad rozsahu a tvaru vydobytých prostor a pro návrh geotechnického průzkumu. Ve většině případů je totiž nezbytné pro konkrétní stavbu znát přesný plošný a hloubkový rozsah poddolování, mocnost a kvalitu horninového masívu v nadloží. Na základě těchto informací je možné posoudit míru rizika poddolování a nezbytnost realizace sanačních opatření. Výsledky geotechnického průzkumu provedeného za tímto účelem slouží pro návrh způsobu sanace a jako podklady pro zpracování realizačního projektu sanačních prací.

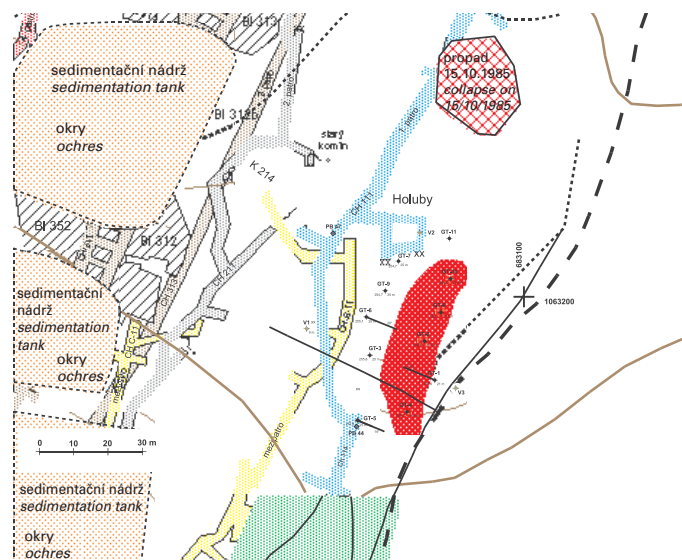
Ve většině případů neexistuje dostatečná mapová dokumentace rozsahu poddolování, a to zejména v oblastech historických rudních, ale i uhelných revírů. Většinou je dochována dokumentace novodobé těžby, ale rozsah těžby realizované našimi „starci“ zcela chybí. A právě tyto vydobyté prostory jsou nejvíce nebezpečné, poněvadž tehdejší těžba byla realizována zpočátku v podzemních a přípovrchových partiích ložisek, o jejichž rozsahu vydobytí nejsou dochovány žádné informace. Nebezpečnost těchto starých důlních děl spočívá kromě mělkého vyražení i v jejich nepravidelném plošném a hloubkovém rozmístění. Na polymetalických žilných strukturách se používala k těžbě surovin převážně nepravidelná dobývací metoda charakteru sestupkového dobývání bez základy a výstupkového dobývání s částečným založením vydobytých prostor, viz. obr. 3. Cílem těchto dobývacích metod bylo vytěžení nejbohatších partií ložiska, teprve až s postupem času se začaly těžit i méně bohaté partie.

Pro geotechnický průzkum tohoto charakteru jsou vhodné přímé průzkumné metody, jako jsou vrtný průzkum a vizuální dokumentace přístupných důlních děl. V případě vrtného průzkumu je nezbytné provádět průběžnou interpretaci průběhu vrtní a geotechnickou dokumentaci. Vrtný průzkum je vhodné doplnit o kamerovou prohlídku pokračování vydobytých prostor pro správnou lokalizaci následujícího průzkumného vrtu. Geofyzikální nepřímé metody jsou pro tyto účely vhodné jen v konkrétních případech, a to pouze při vyhledávacím průzkumu. Výsledky z geofyzikálních průzkumů jsou především závislé na kvalitě interpretace naměřených výsledků.

Výškový přístup primých rozvolňovacích procesů (PRP) do nadloží může být obrovský. Názorným příkladem je případ z Kutné Hory. Známý rozsah novodobé těžby (otevřených komor) byl zmapován mezi 2. a 4. patrem. Strop komory nacházející se nejbližší povrchu byl zmapován v úrovni 2. patra, v hloubce 140 m. V důsledku postupu PRP směrem k povrchu, po zrudněním a tektonicky predisponovaném pásmu v minulosti intenzivně těženém, dostupily tyto přímé rozvolňovací procesy za spolupůsobení průsakových vod do úrovně 20 m pod současnou úroveň terénu. Na obr. 4 a 5 jsou uvedeny výsledky GT průzkumu plošného a hloubkového rozsahu této nově vzniklé dutiny a ověření geotechnické stavby nadložního horninového masívu pro možné posouzení jeho stability. Směrná délka dutiny činí 52 m. Šířka dutiny je dána mocností zrudněného pásma a v nejširším místě činí 17 m. Strop dutiny se nachází v hloubkové úrovni 17,5 – 19,5 m. Objem ověřené části dutiny činí cca 24 230 m<sup>3</sup>.

## POUŽÍVANÁ OPATŘENÍ

V závislosti na výsledcích geotechnického průzkumu a na posouzení možného vlivu vydobytých prostor na povrch se realizují nezbytná opatření. Mezi nejčastěji používaná opatření patří:



Obr. 4 Situace dutiny ověřené GT průzkumem, jejíž strop se nachází 20 m pod úrovní terénu, plošný rozsah dutiny 52 x 17 m  
Fig. 4 Situation of the cavity verified by geotechnical exploration with its top 20 m below the terrain surface, areal extent of the cavity 52 x 17 m

information it is possible to evaluate the level of risks of undermining and necessity to carry out remedial measures. Results of a geotechnical exploration realized for this purpose serves as a basis for proposal of treatment method and for elaboration of performance design of the remedial works.

In most cases, there is not a sufficient mapping documentation of the extent of undermining, especially in areas of historical ore, but also coal deposits. Documentation of newer mining has been mostly preserved, but the extent of mining realized by our ancestors is completely missing. And these stopes are exactly the most dangerous ones, as our ancestors in the beginning mined within subsurface and near-to-surface parts of deposits, about whose extent of stopping there is no information. Beside shallow excavation, danger of the old mining works also lies in their irregular areal and depth distribution. For mining within polymetallic vein systems, our ancestors used predominantly irregular mining methods of underhand stopping without backfilling and overhand stopping with partial backfilling of the stopes, see Fig. 3. The aim of these mining methods was to mine out the richest deposit parts, only after some time also the poorer parts began to be mined as well.

Direct exploratory methods, such as boring exploration and visual documentation of the accessible mining works, are convenient for geotechnical exploration of such type. In case of boring exploration, it is necessary to perform continuous interpretation of the boring progress and geotechnical documentation. Boring exploration can be conveniently supplemented with a camera survey of the spaces ahead in order to correctly determine location of the following exploration bore. Indirect geophysical methods are suitable for these purposes only in certain cases and solely for searching exploration. Results of the geophysical explorations are mainly dependent on the quality of interpretation of the measured values.

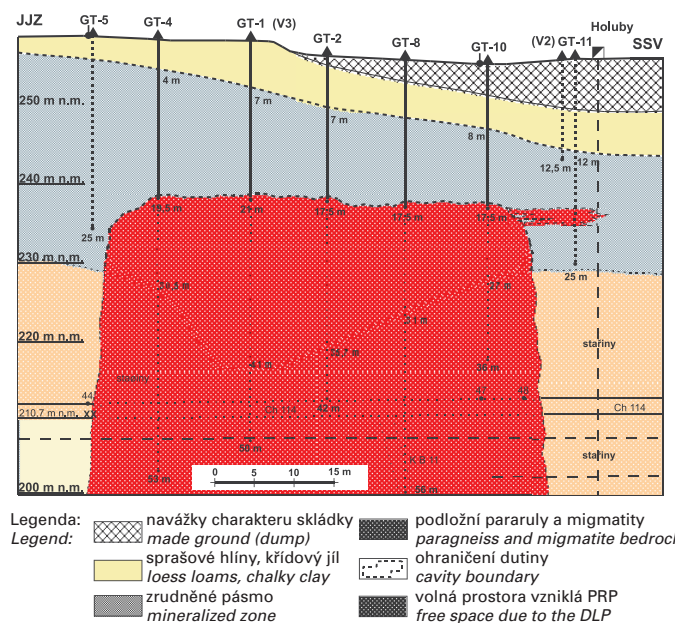
The height the direct loosening processes (DLP) in the overburden reach can be tremendous. There is an illustrative example from Kutná Hora. Known extent of recent mining (open chambers) was mapped between second and fourth floor. Ceiling of the chamber, located closest to the surface, was mapped at the level of second floor at a depth of 140 m. As a result of the DLP advancing towards the surface through a mineralized and tectonically pre-disposed zone, in the past extensively exploited by mining, these direct loosening processes ascended, with a contribution of groundwater leaks, up to a level of 20 m below the current terrain surface. Fig. 4 and 5 show results of a geotechnical exploration of areal and depth extent of this newly arisen cavity and verification of the geotechnical structure of the covering rock mass for eventual evaluation of its stability. Approximate length of the cavity reaches 52 m. Width of the cavity is bound by the thickness of the mineralized zone and in its widest place reaches 17 m. Top of cavity is at a depth of 17,5-19,5 m. Verified section of the cavity has a volume of 24 230 m<sup>3</sup>.

## APPLIED MEASURES

Necessary measures are being performed based on results of the geotechnical exploration and evaluation of potential impact of the stopes on the surface. To the most frequently applied measures belong:

### Monitoring of advance of the direct loosening processes towards the surface using rod-type extensometers

These passive measures are aimed to inform in time about the processes going on in the underground and thus warn about imminent danger. Correct location of anchor of the rod extensometer in the overburden of the stopes and periodical measurements are the prerequisite of success.



Obr. 5 Podélný GT řez ověřenou částí dutiny a jejím nadložím  
Fig. 5 Axial GT cross section through verified section of the cavity and its overburden

### Sledování postupu přímých rozvolňovacích procesů směrem k povrchu pomocí tyčových extenzometru

Tato pasivní opatření mají za cíl včas informovat o procesech probíhajících v podzemí a upozornit na hrozící nebezpečí. Podmínkou úspěšnosti je správná lokalizace kotvy tyčového extenzometru v nadloží vydobytých prostor a periodické měření. Tato opatření byla nasazena na žilných strukturách např. v Příbrami a v Horním Slavkově, kde slouží pro sledování postupu PRP v podloží liniových a pozemních staveb. Těto metody je vhodně použito i pro sledování poklesů zásypů jam likvidovaných nezpevněným materiálem, kde ústí těchto jam je převážně nepřístupné stávající městskou zástavbou.

### Sanace vydobytých prostor výplňovou injektáží

Patří mezi nejčastěji používané metody. Pokud nejsou vydobyté prostory přístupné z povrchu, je nezbytné vyhloubit sanační vrty, kterými je směs dopravována do důlních děl. K sanaci lze použít i vhodné vstrojené průzkumné vrty. Dle použité směsi lze vydobyté prostory zaplnit zpevněným, nebo nezpevněným materiálem v závislosti na geotechnických poměrech důlních děl. Zaplněním vydobytých prostor se zamezí možnosti vzniku a postupu PRP směrem k povrchu. Problematika tohoto způsobu sanace spočívá ve volbě vhodného sanačního materiálu a v zamezení úniku sanační hmoty mimo zájmový prostor do navazujících důlních děl. Přítomnost podzemních a důlních vod v sanovaných prostorách problematiku sanace zvyšuje.

Těto metody bylo použito např. při sanaci podloží silnice II/219 Vejprty – Jáchymov – Karlovy Vary, viz. obr. 6. Zde byl sanován kritický úsek štoly s navazující dobývkou, jejíž strop se nacházel 2,2 m pod úrovní silnice. V dobývce byly patrné nadvýlomy, způsobené opadem hornin z nadloží. Mocnost nadloží v místě nadvýlomu činila 1,4 m.

Obdobný případ sanace byl řešen v obci Lukavice v podloží křížení obecních komunikací. V hloubce 3,5–4,0 m se nacházel strop vzájemně se křížících několika chodeb o profilu cca 8 m<sup>2</sup>. Tyto prostory byly v kritickém úseku sanovány zpevněnou směsí na bázi popílku, která po 28 dnech zrání dosahuje pevnosti v prostém tlaku 4,1 MPa, viz. obr. 7 (průběh zaplňování).

### Sanace částečně založených a zavalených prostor tlakovou injektáží

Patří rovněž mezi často používané metody, poněvadž se kombinuje s výplňovou injektáží volných dutin. Je podstatně náročnější na technické vybavení a na vstrojení sanačních vrtů. Při těchto sanačních pracích musí být vrty vstrojeny perforovanými manžetovými trubkami. Problematika je obdobná jako u výplňové injektáže, ale vzrůstá zde riziko nekontrolovatelného úniku sanační hmoty. Výhoda metody spočívá v zaplnění i dutin, které nejsou zpřístupněny sanačními vrty a s výhodou ji lze využít ke stabilizaci nezpevněných základek důlních děl a nezpevněných zásypů opakovaných propadů.

Na obr. 8 je uveden podélný geotechnický řez podložím silnice I/18 v Příbrami v místě výchozu žilné struktury. Hloubka průzkumných vrtů se pohybovala v intervalu 13–25 m. S ohledem na nepravidelnost historického dobývání zde činila rozteč vrtů místy 2,0 m. Průzkumné vrty zde byly po vstrojení použity k tlakové injektáží. K sanaci byla použita popílkocementová (PC) směs s pevností v prostém tlaku po 28 dnech zrání 3–4 MPa, viz. obr. 9.

Tlaková injektáž byla rovněž použita i při sanaci propadu jámy Göppelschacht situované v těsné blízkosti frekventované komunikace, viz. obr. 10. Propad měl Ø 4,0 m a hloubku 3,5 m. Navazující tahové trhliny a poklesové deformace nasvědčovaly o skutečnosti, že se jedná o aktivní propad s tendencí se rozšiřovat. Geotechnickým vrtným průzkumem bylo ověřeno, že se jedná o nestabilní nezpevněný mezerovitý a místy zaklenbovaný zásyp jámy s navazujícími vytěženými a nezařazenými prostorami, do kterých zásyp jámy „přetéká“. Na základě těchto skutečností bylo rozhodnuto o zaplnění ověřených volných prostor vhodnou sanační směsí a o stabilizaci nezpevněného zásypu jámy tlakovou injektáží. V poslední fázi

These measures were applied at vein systems for instance in Příbram and Horní Slavkov, where they serve for observation of advance of the DLP in the bedrock underneath linear and underground structures. This method can be also conveniently used for observation of settlement of backfilling of shafts realized by unconsolidated materials, where mouths of these shafts are predominantly inaccessible due to existing urban development.

### Treatment of stoped-out workings using backgrouting

It is one of the most frequently used methods. In case the stopes are not accessible from the surface, it is necessary to realize remedial bores, which transport the mixture into the mining structures. Suitably equipped exploration bores can be also used for the treatment. By means of the used mixture the stopes can be filled with either consolidated or unconsolidated material, based on geotechnical conditions in the mining structures. Backfilling of the stopes will prevent the potential occurrence and advance of DLP towards the surface. Problems with this type of treatment lie in selection of suitable remedial material and prevention of spreading of the remedial material from desired spaces out into adjacent mining structures. Presence of mining- and groundwater within treated spaces only amplifies the problems. This method was used for instance by treatment of overburden of the road II/219 Vejprty-Jáchymov-Karlovy Vary, see Fig. 6. A critical gallery section with a connecting stope, whose ceiling was located 2,2 m below the road surface, was treated here. There were obvious overbreaks in the stope, caused by rock falling from the overburden. Overburden thickness in place of the overbreak was 1,4 m.

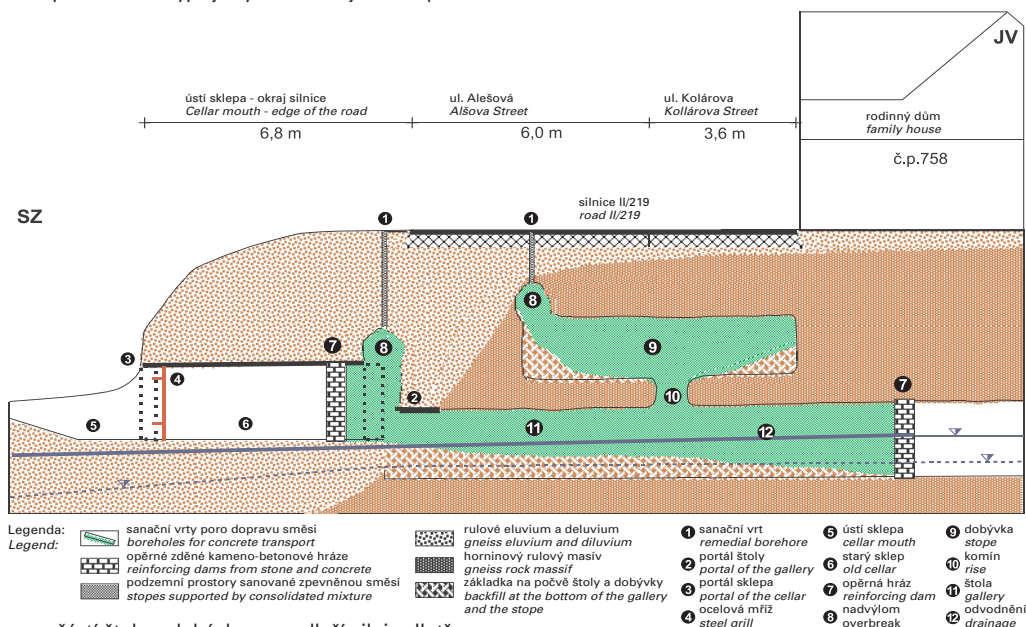
A similar treatment case was solved in village of Lukavice within the bedrock underneath a crossing of municipal roads. A roof of several mutually crossing corridors with cross profile of app. 8 m<sup>2</sup> was located at a depth of 3,5–4,0 m. These spaces were in their critical section treated by consolidated mixture of fly ash, which after 28 days of maturing reaches an uniaxial compressive strength of 4,1 MPa, see Fig. 7 (backfilling procedure).

### Treatment of partially backfilled and caved-in stopes using pressure grouting

It also belongs to the more frequently used methods, because it is combined with backgrouting of empty cavities. It is significantly more demanding as far as technical equipment and equipment of the remedial bores are concerned. Bores have to be equipped with perforated tube-a-manchette pipes. There are similar problems as by the backgrouting, only the risk of uncontrolled spreading of remedial material is higher. The advantage of this method is represented by also filling of those cavities, that had been made accessible by remedial bores, so it can conveniently used for stabilization of unconsolidated backfill of mining structures and unconsolidated fill-ins of locations of repeated subsidence.

Fig. 8 shows axial geotechnical cross-section of the bedrock underneath the road I/18 in Příbram at a spot of the vein system outlet. Depth of the exploration bores ranged between 13 – 25 m. With regards to irregularity of historical mining, bore spacing locally reached 2 m. After installation of casing, the exploration bores were used for pressure grouting. Fly ash-cement (FAC) mixture with uniaxial compressive strength of 3-4 MPa after 28 days of maturing was used for the treatment, see Fig. 9.

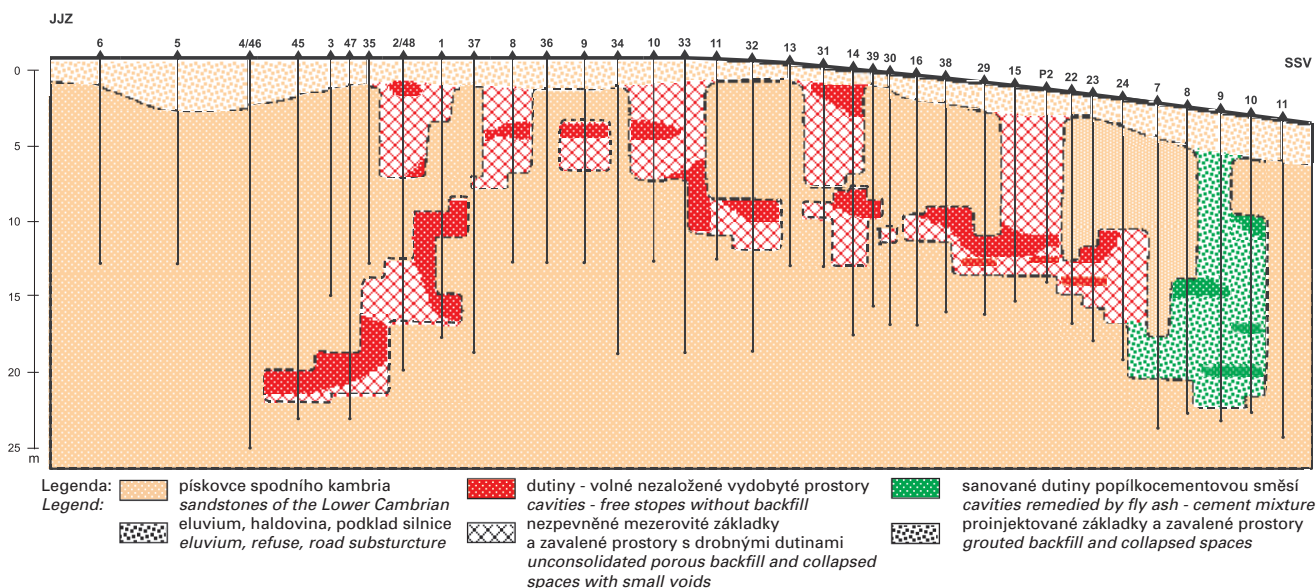
Pressure grouting was also used during treatment of subsidence of the shaft Göppelschacht, located in immediate vicinity of a frequently used road, see Fig. 10. The subsidence area had a diameter of Ø 4,0 m and depth of 3,5 m. Linked tension fractures and settlement deformations suggested, that the subsidence was active, with an intensifying tendency. Geotechnical exploration verified that it is an unstable unconsolidated discontinuous and partially vaulting shaft backfill with linked empty stopes, in which the back-



Obr. 6 Řez sanovanou částí štoly a dobývkou v podloží silnice II. tř.

Fig. 6 Cross section of the treated gallery part and stope underneath a II. class road





Obr. 8 Podélný GT řez podložím silnice I/18 v Příbrami  
 Fig. 8 Axial geotechnical cross section of the bedrock underneath the road I/18 in Příbram



Obr. 7 Pohled do ze 3/4 zaplněných důlních děl zpevněnou směsí na bázi popílku, podloží křižovatky v obci Lukavice  
 Fig. 7 View into mining structures up to 3/4 filled with consolidated mixture of fly ash underneath a road crossing in village of Lukavice

byl zaplněn vlastní propad jámy výplňovou směsí. V závěru akce byly provedeny kontrolní jádrové vrty kvality zaplnění volných prostor a proinjektování zásypu jámy. Použitá sanační směs měla pevnost v prostém tlaku 3,0–3,5 MPa.

**Sanace přístupných důlních děl hornickým způsobem**

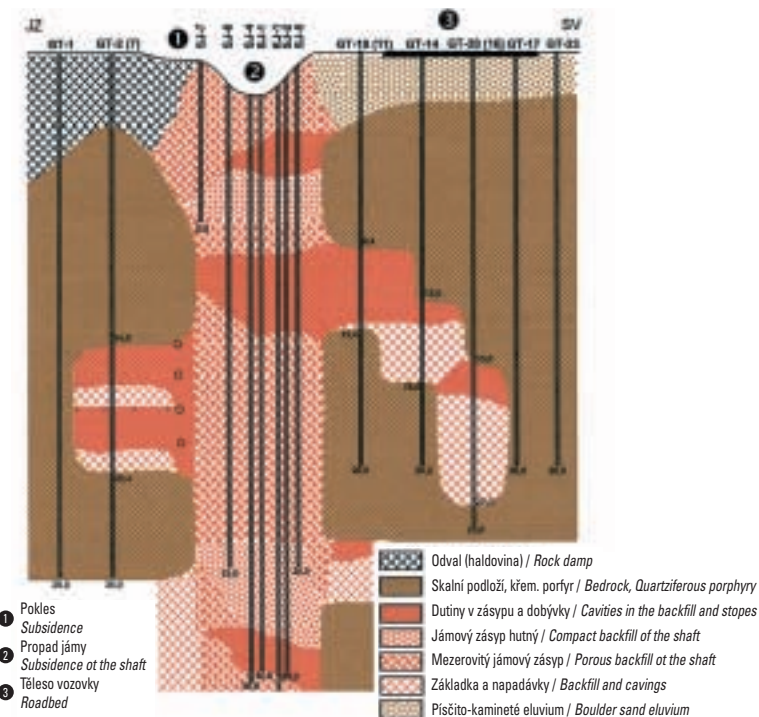
V současné době je snaha zachovat některá zvláště historická důlní díla přístupná pro další generace. V těchto případech se tato důlní díla nesanují zpevněným nebo nezpevněným materiálem, ale zajišťují se klasickými nebo původními výtžnými prvky (ocelové, dřevěné, kamenné suché zdi a klenby, apod.). V mnoha případech jsou tato důlní díla částečně nepřístupná a je nezbytné je nejdříve vyzmáhat a kritická místa následně zajistit. Vzhledem k charakteru starých důlních děl je nezbytné řešit řadu geotechnických problémů souvisejících se stabilitou těchto důlních děl. Důsledná dokumentace a zhodnocení geotechnického stavu jsou nezbytnou podmínkou k zajištění dlouhodobé stability těchto důlních děl a objektů nacházejících se v nadloží.

Jedním z hlavních problémů při zpřístupňování starých důlních děl je zmáhání a zajišťování starých závalů, propadů a naplavenin. Tento problém byl řešen například při hloubení nové větrací a těžní jámy (profil cca 8 m<sup>2</sup>) v komplexu starých důlních děl bývalého cínového dolu Jeroným v lokalitě Čistá. Průzkumným vrtem zde byly v nadložním migmatitovém a rulovém horninovém komplexu ověřeny partie starých důlních děl zcela zaplněných jílovito-písčítým splachovým materiálem se závalovými bloky hornin. Vlastní horninový komplex byl v jednom úseku navíc posílen rozvolňovacími procesy, které způsobily uvolnění částí horninového masivu východním směrem. Tyto rozvolňovací procesy se v jámě projeví otevřenými tahovými trhlinami rozevřenými až 12 cm, viz. obr. 11. V důsledku změny báňsko-geologických poměrů byl změněn projekt způsobu hloubení a zejména vyztužování jámy. Vzhledem k historické hodnotě důlních děl, do kterých měla být jáma prorazena (15. až 16. století, obr. 14 a 15), bylo hloubení jámy realizováno ručně, bez použití trhacích prací (hloubka 24 m), s okamžitým zajišťováním ocelovou výtžní ze zavěšovaných ocelových rámu v kroku 1,0 m a pažených ocelovým pažením, viz. obr. 13. Tzn., že každý nově vyhloubený metr byl následně zajištěn trvalou ocelovou výtžní. S ohledem na výsledky vrtného průzkumu byly prováděny bezpečnostní předvrty a v kritických místech, kde se procházelo závaly a splachy, byly stěny jámy zajišťovány jehlami, viz. obr. 12. Po

fill of the shaft "overflows". Based on these facts, it was decided to fill the verified free spaces using a suitable remedial mixture and to stabilize the unconsolidated shaft backfill using a pressure grouting. The shaft top subsidence was filled by grouting in the last phase. In the end, checking core bores were carried out to determine quality of filling of the free spaces and grouting of the shaft backfill. Used remedial mixture had a compressive strength of 3,0-3,5 MPa.



Obr. 9 Vrtné jádro z kontrolního vrtu v Příbrami, proinjektovaný zásyp injektážní PC směsí a výplňová PC směs ze zaplněné dutiny  
 Fig. 9 Boring core from the checking bore in Příbram, the backfill grouted using the PC mixture and the backgrouting PC mixture from the filled cavity



Obr. 10 Podélný GT řez propadem jámy a navazujícími dobývkami  
 Fig. 10 Axial GT cross section of the shaft subsidence and linked stopes



vyhloubení a vyztužení jámy ocelovou výztuží s ocelovým pažením a prostupy do vytěžených komor byla postupně provedena vzestupná betonáž jámy za pomoci montovaného ocelového bednění. Zároveň bylo provedeno zaplnění meziprostoru stěny jámy a ocelové výztuže jámy betonovou směsí. Čímž byly částečně sanovány rozevřené trhliny v horninovém masivu, způsobené rozvolňovacími procesy, vyvolané existencí dosud neznámých a zavalených vydobytých prostor.

#### 4. ZÁVĚR

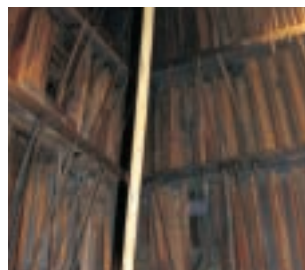
Z výše uvedených příkladů je nanejvýš zřejmý význam geotechnického průzkumu rozsahu poddolování v konkrétních případech a nezbytnost ověření příčin vzniklých deformací na povrchu. Na základě znalostí geotechnických poměrů důlních děl je možné zvolit vhodnou a efektivní metodu sanačních a zajišťovacích prací a vyřešit mnohdy velmi složité geotechnické poměry související s vyraženými starými a opuštěnými důlními díly.

#### 5. Literatura

Výsledky geotechnických průzkumných a sanačních prací realizovaných firmou Stavební geologie – Geotechnika, a. s.



Vlevo: Obr. 11 Rozevřené průběžné tahové trhliny ověřené při hloubení jámy  
Left: Fig. 11 Open running tension fractures, verified during the ditch excavating



Vpravo: Obr. 12 Zajištění stěn jámy jehlami v nestabilním závalovém a splachovém materiálu a následné zajištění ocelovým pažením  
Right: Fig. 12 Support of the ditch walls by spikes within unstable cave-in and outwash material and subsequent support by steel sheet bracing



Obr. 13 Hloubení jámy s odtěžováním rubaniny v okovu a pomocí drapáku s průběžným zajišťováním stěn jámy ocelovou výztuží s ocelovým pažením, ocelové rámy v kroku 1,0 m, hloubka 16 m  
Fig. 13 Sinking of the shaft with disposal of muck in a sinking bucket and using a grabber, with continuous support of the shaft walls by steel reinforcement with steel sheet bracing, steel frames every 1,0 m, depth of 16 m



Obr. 14 Původní ručně ražená propojovací chodba mezi komorami se stopami po železkách a s výklenkem pro kahanec (15. až 16. st.)  
Fig. 14 Original manually excavated cross passage between chambers with traces of hack irons and a lamp niche (15th – 16th century)

**Treatment of accessible mining structures using the conventional method**  
Currently there is an effort to keep some, especially historical, mining structures accessible also for future generations. In these cases, the mining structures are not treated by consolidated or unconsolidated material, but secured by conventional or even original supporting elements (steel, wooden, stone dry walls and vaults etc.). However, in many cases these mining structures are partially inaccessible and it is necessary to first support them and subsequently secure critical places. With regards to character of the old mining structures it is essential to deal with several geotechnical problems connected with their stability. Consistent documentation and evaluation of their geotechnical condition are essential prerequisites in order to provide long-term stability of these mining structures as well as structures in the overburden.

Dissolution and support of old collapsed locations, subsidence areas and deposits are the main problems in making the old mining structures accessible. This problem was for instance solved during sinking of the new ventilation and mining shaft (cross profile app. 8m<sup>2</sup>) within complex of old mining structures of the former tin mine Jeroným in the Čistá locality. Exploration bore here verified parts of old mining structures, completely filled by clayey-sandy outwash material with fallen rock blocks, in the overburden of migmatite and gneiss rock complex. The own rock complex was moreover suffering of loosening processes in one section, which caused one section of the rock massif to loosen in eastern direction. These loosening processes were demonstrated by open tension fractures in the shaft, opened up to 12 cm, see Fig. 11. As a result of changed mining-geological conditions, the project changed the method of sinking and especially the shaft support. Considering historical value of the mining structures into which the ditch was to be driven (15th – 16th century, Fig. 14 and 15), the excavation was realized manually, without the use of blasting (depth of 24 m) and with immediate support by steel reinforcement from suspended steel frames every 1,0 m and braced by steel sheets, see Fig. 13. That means that every newly excavated meter was subsequently secured by a permanent steel reinforcement. With regards to results of the exploration bore, safety forebores were realized and in critical places, where cave-ins and outwashes were passed through, the shaft walls were secured by spiling, see Fig. 12. Following excavation and support of the shaft by steel reinforcement with steel sheet bracing and penetration into the stopes, the shaft was cast from the bottom upwards using assembled steel formwork. At the same time, the space between the ditch and the steel support was filled with a concrete mixture. Open fractures in the rock massif, caused by loosening processes due to existence of yet unknown and collapsed stopes, have been partially treated this way.

#### 4. CONCLUSION

From the aforementioned examples it is highly obvious that geotechnical exploration of the extent of undermining is in particular cases of major significance while there is also a need to verify causes of the arising deformations at the surface. Based on knowledge of the geotechnical conditions in mining structures it is possible to select a suitable and effective method of remedial and securing works and often thus to solve very complicated geotechnical conditions connected with old and abandoned stopes.

#### References

Results of geotechnical exploration and remedial works realized by Stavební Geologie – Geotechnika, a. s.



Obr. 15 Původní komorové dobývání metodou „sázení ohněm“ (15. až 16. st.) s ponechaným mezikomorovým pilířem  
Fig. 15 Original chamber mining by means of fire (15th – 16th century) with a room fender maintained



# VLIV RAŽEB PRŮZKUMNÝCH ŠTOL TUNELU DOBROVSKÉHO NA OBJEKTY POVRCHOVÉ ZÁSTAVBY V BRNĚ A APLIKACE OBSERVAČNÍ METODY

## IMPACT OF EXPLORATION GALLERIES FOR THE DOBROVSKÉHO TUNNEL ON SURFACE DEVELOPMENT IN BRNO; APPLICATION OF THE OBSERVATION METHOD

ING. IGOR ZEMÁNEK, ING. JAROSLAV LOSSMANN, ING. KAREL SOCHA  
STAVEBNÍ GEOLOGIE – GEOTECHNIKA, a. s.

### Resumé:

Při ražbě průzkumných štol budoucího tunelu Dobrovského v Brně se provádí v rámci observační metody hodnocení vlivu štolování na celkovou stabilitu povrchové zástavby. Vychází se při tom z predikce tvaru poklesové kotliny, která je stanovena na základě teorie objemové ztráty zeminy (loss of ground.) a statické odolnosti jednotlivých objektů předpokládané statikem. V průběhu razicích prací se průběžně provádí a vyhodnocuje komplex měření a určuje se předně zatížení objektů nerovnoměrným sedáním. Pro každý objekt jsou stanoveny varovné stavy a k nim přiřazeno konstrukční řešení vyztužení objektů po jejich dosažení. Tyto práce řídí investor stavby ŘSD - Brno.

Stavební Geologie GEOTECHNIKA, a. s., zajišťuje souhrnné hodnocení výsledků všech typů měření, vztahujících se na objekty povrchové zástavby a navrhuje způsob sledování objektů, vyhodnocení monitoringu a návrh statického zajištění objektů.

V předloženém článku se uvádí postup a metodika observace budov a způsob zajištění statické stability objektů před účinky podtunelování.

### 1. Základní údaje

Název stavby: Silnice I/42 BRNO, VMO Dobrovského A, Tunely DOBROVSKÉHO – PRŮZKUMNÉ ŠTOLY

Investor: Ředitelství silnic a dálnic ČR, správa BRNO  
Celkové investiční náklady stavby: cca 280 mil. Kč

### 2. Stručný popis štol a technologie ražby

Štoly budou konstrukční součástí výstavby tunelů DOBROVSKÉHO (projektant: Amberg Engineering Brno, a. s.).

V profilu budoucího tunelu DOBROVSKÉHO I byla ražena průzkumná štola Ib a v profilu tunelu DOBROVSKÉHO II byly raženy dvě průzkumné štoly Ila a Ilb.

**Štola Ib** (zhotovitel: Metrostav, a. s.)

Doba zahájení a ukončení ražby: květen 2002 – říjen 2002

Délka štoly Ib v půdorysném průřezu je 365,0 m

**Štola Ila** (zhotovitel: ŽS BRNO, a. s.)

Doba zahájení a ukončení ražby: duben 2002 – červenec 2003

Délka štoly Ila v půdorysném průřezu je 831,0 m

### Resumé:

An assessment of the impact of gallery drifting on the overall stability of surface development has been carried out within the framework of the observation method during the excavation of exploration galleries for the planned construction of the Dobrovského tunnel in Brno. The assessment is based on the prediction of the shape of the settlement trough, which is determined on the basis of the loss of ground theory and structural resistance of individual buildings assumed by a structural engineer. An array of measurements has been continually carried out and assessed in the course of the drifting. Loads on the structures due to differential settlement have been determined above all. Warning levels have been specified for each structure and a structural solution how to reinforce the structure when the levels are reached have been designed. The above work is controlled by ŘSD – Brno (Directorate of Roads and Motorways).

Stavební Geologie GEOTECHNIKA, a.s. provides a summary assessment of results of all types of measurement relating to the surface structures. It also proposes methods of the monitoring, assessment of the monitoring and structural support to the buildings.

The paper contains the procedure and method of the observation of buildings and the method of securing structural stability of buildings to resist the effects of undermining.

### 1. Basic data

Project name: Road I/42 BRNO, VMO Dobrovského A, DOBROVSKÉHO tunnels – EXPLORATION GALLERIES

Owner: Directorate of Roads and Motorways of the Czech Republic, Department BRNO

Total investment cost: approximately Kč 280 million

### 2. Brief description of the galleries and the excavation technique

The galleries will become a structural part of the construction of the DOBROVSKÉHO tunnels (designer: Amberg Engineering Brno, a.s.). The exploration gallery Ib was excavated inside the cross section of the planned tunnel DOBROVSKÉHO I, and two exploration galleries Ila and Ilb were driven inside the profile of the DOBROVSKÉHO II tunnel.



Obr. 1 Pohled na provizorní portál (začátek průzkumných štol)  
Fig. 1 Temporary portal (the beginning of the exploration galleries)

**Štola IIb** (zhotovitel: SUBTERRA, a. s.)

Doba zahájení a ukončení ražby: duben 2002 – červen 2003

Délka štoly IIb v půdorysném průmětu je 831,0 m

Ražba byla prováděna převážně technologií strojního ražení, dočišťování výrubu bylo klasickou ruční ražbou. V počátečních úsecích byly realizovány mikropilotové deštníky. Ve všech třech štolách byl použit razicí stroj ITC 112. Ostění a počva štól jsou tvořeny sřikáným betonem SB20 s KARI sítí a tuhou důlní výztuží K24. Délka jednoho záběru byla 1,0 m. Plocha výrubu jedné štoly je 13 až 14 m<sup>2</sup> (dle staničení).

### 3. Geologické poměry

Při vrtání MP deštníků a z mapování čelby bylo zdokumentováno, že štoly IIb (Subterra) a zvláště IIa (ŽS BRNO) měly v úvodním úseku (do vzdálenosti 50,0 m od portálu) kromě převládajících neogenních jílu tuhé až pevné konzistence také vrstvu nesoudržných vodonosných písčitých štěrků – štěrků přímo ve stropě či těsně nad stropem. Štola Ib (Metrostav) měla ve stropě krytí vrstvou jílu a pouze lokálně narazila na vzdušné čocky štěrků. V důsledku bezprostřední blízkosti štěrkové vrstvy zaznamenala štola IIa soustavné přítoky vody, která se, v důsledku počátečního úpadního sklonu tunelů, hromadila na čelbě, rozbrídala dno tunelu a komplikovala pokládání TH výztuže. Rovněž přispívala k nestabilitě stropu i čelby. Další úseky ražby štól byly již pouze v neogenních zelenošedých až šedých jílech, konzistence převážně pevné.

### 4. Vznik neočekávaných sedání nad štolami Dobrovského

Krátce po zahájení ražby průzkumných štól tunelů Dobrovského došlo k výrazným deformacím jílu v okolí štól. Přírůstek deformací ve štole a na povrchu v době průchodu ražby několikanásobně překročily původně projektované maximální hodnoty. To mělo za následek celkový velký nárůst deformací na povrchu, zvláště v místech stávající obytné zástavby a vzniku poruch na podcházených objektech.

Provedená konvergenční měření a měření pevných bodů ve štole, nivelační měření na povrchu, inklinometrická a extenzometrická měření umožnily provést analýzu problémů. Na základě změřených údajů bylo možné definovat hlavní mechanismy, které se na překvapivých deformacích podílely:

- Inženýrskogeologické poměry,
- Vliv vrtání a injektování mikropilotových deštníků.
- Vzájemné ovlivnění ražby štól IIa a IIb.
- Zabořování TH výztuže do podloží.
- Pojezdy techniky přes nekrytou TH výztuž.
- Únosnost dočasných pilířů mezi štolami IIa a IIb.

### 5. Opatření pro ražbu a podchycení stávající zástavby

Na vzniklou situaci neočekávaně vysokých deformací bylo nutné přijmout nová opatření pro další postup ražby, zvláště s ohledem na průchod štól pod obytnou zástavbou.

Byl vypracován návrh opatření a obecné zásady pro podchod štól pod objekty na ul. Palackého a ul. Veleslavínova. Dále byla stanovena nová prognóza příčné a podélné poklesové kotliny v místě stávající zástavby na ul. Palackého a Veleslavínova.

### 6. Opatření ve štolách

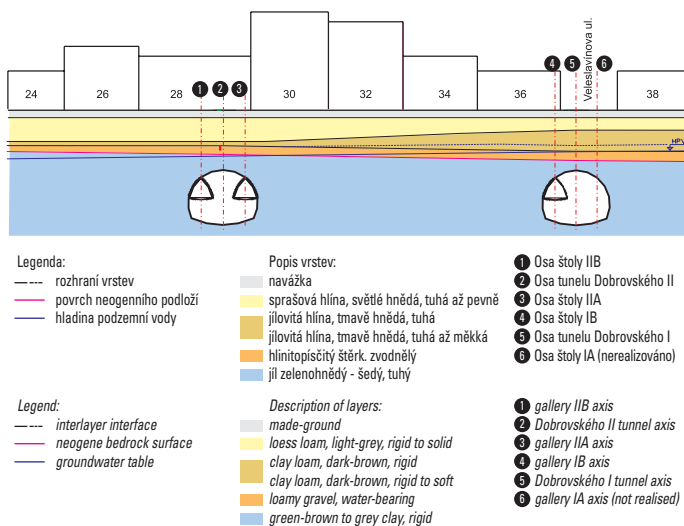
Hlavní zásady:

- Ukončení realizace ochranných MP deštníků. Pod ul. Palackého se již nepředpokládá výskyt vrstev nesoudržných vodonosných písčitých štěrků ve výrubu (viz. geologický řez).

IG příčný profil pod ul. Palackého (ve směru ražby)

EG cross section under Palackého Street (in the direction of the excavation)

Staničení km 1.380 tunelu Dobrovského / Dobrovského tunnel chainage of km 1.380



Obr. 2 Geologický řez Palackého ulicí

Fig. 2 Geological section through Palackého Street

**Gallery Ib** (contractor: Metrostav, a.s.):

Commencement and completion of the excavation: May 2002 – October 2002

Gallery Ib ground plan length 365,0 m

**Gallery IIa** (contractor: ŽS BRNO, a.s.):

Commencement and completion of the excavation: April 2002 – July 2003

Gallery IIa ground plan length 831,0 m

**Gallery IIb** (contractor: SUBTERRA, a.s.):

Commencement and completion of the excavation: April 2002 – June 2002

Gallery IIb ground plan length 831,0 m

The galleries were excavated mostly mechanically, with conventional manner of manual scaling. Canopy tube pre-support was applied in the initial sections. ITC 112 tunnelling machine was used for all three galleries. The lining and bottom of the galleries are from shotcrete SC20 with KARI mesh and rigid colliery frames K24. The round length was of 1.0 m. Excavated cross section of one gallery is 13–14 m<sup>2</sup> (depending on the chainage).

### 3. Geological conditions

It was documented during the drilling for the tube pre-support, as well as by mapping the excavation face, that the galleries IIb (SUBTERRA) and mainly IIa (ŽS BRNO) encountered, apart from prevailing Neogene clays with consistency varying from rigid to solid, also a layer of non-cohesive water-bearing sandy gravels – gravels directly at the roof or just above the roof in the initial section (up to a distance of 50m from the portal). A layer of clay covered the roof of the gallery Ib (METROSTAV); water charged lenses of gravel were encountered locally only. Continuous inflows of water to the gallery IIa were caused by the immediate closeness of the gravel layer. The water accumulated at the excavation face as a result of the initial downhill gradient of the tunnels. It waterlogged the tunnel bottom and complicated the installation of the TH frames. It also contributed to instability of the excavation roof and face. The other sections of the excavation of the galleries took place in Neogene green-grey to grey clays with mostly rigid consistency.

### 4. Unexpected subsidence above the galleries for the Dobrovského tunnels

Expressive deformations of clays surrounding the galleries appeared soon after the beginning of the excavation of the exploration galleries for the Dobrovského tunnels. The increments to the deformations in the gallery and on the surface in the time of the excavation passage exceeded the maximum values expected in the original design several times. This resulted in a general substantial increase in the deformations at the surface level, primarily in areas of existing residential development, and caused defects to the buildings being passed under.

The convergence measurements and survey of fix references in the gallery, levelling on the surface, and inclinometric and extensometric measurements performed made an analysis of the problems possible. The measured data made it possible to define the following main mechanisms that contributed to the surprising deformations:

- Engineering-geological conditions
- Impact of drilling and grouting for the tube pre-support umbrella
- Interaction between the excavation of the gallery IIa and gallery IIb
- Sinking of the TH frames down into the bottom
- Trips of the equipment over the unprotected TH frames
- Load-bearing capacity of the temporary rock pillar between the galleries IIa and IIb

### 5. Measures for the excavation and underpinning of existing buildings

It was necessary to respond to the new situation regarding the unexpectedly high deformations by adopting new measures allowing further continuation of the excavation, primarily with respect to the passage of the galleries under the existing buildings.

A proposal for the measures and general rules solving the passage of the galleries under the existing buildings on Palackého and Veleslavínova Streets was developed.

### 6. Measures for the galleries

Principal rules:

- To suspend the work on the tube pre-support umbrellas. The occurrence of layers of incohesive water-bearing gravels within the excavated cross section was no more expected (see the geological profile).
- To eliminate the interaction between the excavation of the gallery IIa (ŽS BRNO) and IIb (SUBTERRA). To increase the distance between the two excavation faces.
- To remove muddy or damaged layers of clay on the bottom of the gallery just before placing the TH frames on the bottom of the gallery.
- To restrict the subsidence of TH frames by placing the frames on spread footings.
- To prevent equipment trips directly over the TH frames.
- To reduce the TH frames spacing under the existing buildings twice compared to the designed spacing (with the round length of 1.0m maintained)

### 7. Measures on the surface

Basic categorisation of buildings according the type and character; Main rules for the assessment.

#### 7.1 Basic types of masonry buildings

- Low-storied masonry buildings
  - massive structures from stone, brick or mixed masonry;
  - well maintained,
  - maintenance neglected (corrosion of plastering, masonry, influence of moisture, corrosion of the structure of trusses, verandas, annexes)



- Eliminovat vzájemné ovlivnění od ražeb ve štolě IIa (ŽS BRNO) a IIb (SUBTERRA). Prodloužení vzdálenosti odstupů čeleb od sebe.
- Bezprostředně před pokládáním TH výtuzě na dno štol odstranění rozměklé či porušené vrstvy jílu na dně štol.
- Omezení sedání rámu opřením (založením) rámu na roznášecí patky.
- Zamezení pojiždění techniky přímo po TH výtuzi.
- Při zachování délky jednoho záběru 1,0 m zahustit vzdálenost rámu TH na dvojnásobek oproti PD (pro průchod pod obytnou zástavbou).

## 7. Opatření na povrchu. Základní rozdělení budov podle jejich typu a charakteru, hlavní zásady pro jejich posuzování

### 7.1. Základní typy zděných konstrukcí

- nízkopodlažní zděné konstrukce (budovy)
  - masivní stavby z kamene, cihel nebo smíšeného zdiva
  - dobře udržované
  - zanedbaná údržba (korozí omítek, zdiva, vliv vlhkosti, korozí konstrukce krovů, verand, přístavby)
  - chatrné stavby z méně kvalitního cihelného zdiva
  - dobře udržované
  - zanedbaná údržba (korozí omítek, zdiva, vliv vlhkosti)
- vícepodlažní zděné konstrukce (budovy)
  - dobře udržované
  - zanedbaná údržba (korozí omítek, zdiva, vliv vlhkosti, korozí konstrukcí balkonů nebo pavlačí)

### 7.2. Základní metodický postup

Jako klasifikační norma je použita ČSN 730038 „Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách“ včetně jejího komentáře.

Ve věci konzultace stavu objektu bylo postupováno přiměřeně a podle zásady, že výpovědi jsou podkladem subjektivním a nelze se o ně bezvýhradně opírat, ale nesmějí být přehlédnuty. Rozhodujícím podkladem jsou však objektivně zjištěné skutečnosti.

Technická diagnostika souborů budov na trase postupovala ve své zásadě podle základního průzkumu konstrukce, ale pro rozhodující prvky nosných konstrukcí bylo použito výsledků doplňujícího průzkumu konstrukce.

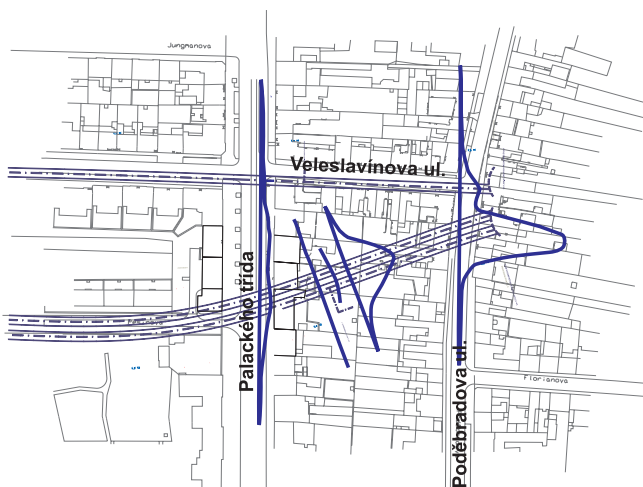
Ze sledovaného hlediska je možno konstatovat, že při použití dané metodiky lze aplikovat zkušenosti z obdobných budov obdobného stáří a v obdobných podmínkách působení, což je zcela v souladu s komentářem k základní použité normě.

Metodicky se proto nadále postupovalo podle základních pěti klasifikačních hledisek metodiky mezních stavů, kterými jsou:

- skupiny mezních stavů (únosnost a použitelnost)
- stadia působení konstrukce (výrobní a provozní)
- situace konstrukce v historii (normální a nevhodná)
- spolehlivostní systémy a spolehlivostní schémata
- statistika (matematicko-pravděpodobnostní úvahy a výpočty)

### 7.3. Členění nutných zabezpečovacích prací

- Zabezpečovací práce z hlediska trvání konstrukce
  - stavební prvky a úpravy trvale ponechávány v konstrukci
  - stavební prvky provizorní, které budou po ražbě odstraněny
- Zabezpečovací práce z hlediska postupu ražby
  - konstrukce a činnosti prováděné před ražbou štol
  - konstrukce a činnosti prováděné v průběhu ražby štol
  - konstrukce a činnosti prováděné v případě nepředvídatelného vývoje poruch v budově
- stavební práce prováděné v souvislosti s odstraňováním provizorních konstrukcí



Obř. 3 Situace sledované oblasti a příčná poklesová kotlina  
Fig. 3 Layout plan of the monitored area and the settlement trough

- shabby structures from lower quality masonry
- well maintained
- maintenance neglected (corrosion of plastering, masonry, influence of moisture)
- multiple-storied masonry buildings
  - well maintained,
  - maintenance neglected (corrosion of plastering, masonry, influence of moisture, corrosion of the structure of balconies or covered ways)

### 7.2 Basic methodological procedure

The CSN 73 0038 "Design and assessment of building structures in the process of refurbishment" including the commentary is used as the classification standard.

Consultations on the condition of the structure were conducted adequately, keeping to the principle that statements are subjective data and it is not possible to use them unconditionally. They cannot, however, be neglected. The deciding items of data are objectively determined facts.

Technical diagnostics of sets of buildings existing along the route proceeded in principle according to the basic survey of the structure, but results of additional supplementary survey of the structure were used for the assessment of the deciding elements of the load-bearing structures.

From the selected aspect it is possible to state that the experience gained from similar buildings of similar age and in similar conditions of effects can be utilised in the application of the above method. This is fully in compliance with the commentary to the basic standard.

For that reason the methodology of the further procedure remained unchanged, according to five basic classification criteria given by the methodology of limit states, i.e.:

- groups of limit states (load-bearing capacity and practicability)
- phases of the activity of the structure (production and operation)
- situation of the structure in the history (normal and accidental)
- reliability systems and reliability schemes
- statistics (mathematical-probabilistic considerations and calculations)

### 7.3 Division of the protection measures

- Protection actions from the aspect of the structure duration:
  - permanent structural elements and adjustments to be left in the structure
  - temporary structural elements to be removed after the excavation.
- Protection actions from the aspect of the excavation progress
  - structures and actions executed before the excavation of the galleries
  - structures and actions executed in the course of the excavation of the galleries
  - structures and action carried out in case of an unpredictable development of defects in the building
  - construction work carried out on removing the temporary structures

### 8. Application of the observation method

Basic principle, i.e. the flow chart of the observation method, can be briefly expressed in the following way:

- perfect investigation defining the general character, features and properties of the rock environment and the affected surface buildings
- assessment of the most probable conditions of operation of the structures and the most unfavourable deviations from those conditions
- proposal for measures based on a working hypothesis of the behaviour according to the prediction considering the most probable conditions of operation
- selection of the variables to be monitored during the excavation; and calculation of the anticipated values of the variables according the working hypothesis
- a preventive set of measures or modifications of the proposal for every predictable significant deviation determined in the course of the measurement of the deviations which were predicted on the basis of the hypothesis
- modification of proposals so that they correspond with the real conditions of operation

A note to the procedure using the observation method:

The basic criterion for deciding on contingent necessary measures in the course of the construction of the galleries was the development of deformations and defects of masonry structures, including lightweight built-in partition walls.

According to usual experience, marks of deformations of old building are: activation of origination of fissures and cracks in door and window head-sills or other weakened parts of integral cross sections, origination of cracks in the soffit of stair flights, or origination or development of cracks in vaulted structures. A bigger number of structurally insignificant fissures or cracks (joist ceilings and their coving, cracks in thin partition walls, defects of plastering or wall painting) occur in the conditions of differential lateral settlement and expansion of the building. This situation cannot affect the load-bearing capacity and stability of the structures, nor can it affect the safety of the operation taking place in the building.

The fundamental deciding document used in the basic assessment of all the above-mentioned defects will be the survey of affected structures conducted before the excavation. This survey (passportisation) will be also important in negotiations on contingent compensation for damages.

In general, it is possible to state that the above-mentioned defects develop even in those cases where the preventive structural protection of the buildings is carried out. This means that the measures do not have to be necessarily always totally effective.

## 8. Aplikace observační metody

Základní princip, postupové schéma, observační metody je možno stručně vyjádřit následovně:

- stavební dokonalý průzkum pro definování všeobecné povahy, rysů a vlastností horninového prostředí a dotčené povrchové zástavby
- stavební vyhodnocení nejpravděpodobnějších podmínek působení konstrukcí nejneprůzračnějších odchylek od těchto podmínek působení
- stavební návrh opatření založený na pracovní hypotéze chování dle předpovědi za nejpravděpodobnějších podmínek působení
- stavební výběr veličin, jež budou sledovány během ražby, a výpočet jejich očekávaných hodnot podle pracovní hypotézy
- stavební preventivní sestava souboru opatření nebo modifikací návrhu pro každou předvídatelnou významnou odchylku zjištěnou při průběhu měření od odchylek, které byly předpovězeny na základě hypotézy
- stavební modifikace návrhů, aby odpovídaly reálným podmínkám působení

Poznámka k postupu observační metodou:

Základním kritériem pro rozhodování o případně nutných opatřeních v průběhu výstavby stůl byl vývoj deformací a poruch na zděných konstrukcích včetně lehkých vestavěných příček.

Podle obvyklých zkušeností se deformace na starých budovách projevují oživením nebo vznikem trhlinek a trhlin v nadpraží dveří a oken nebo jiných oslabených částí celistvých průřezů, vznikem prasklin ve spodním lici schodišťových ramen, jakož i vznikem nebo vývojem trhlin ve zděných klenutých konstrukcích. Při nerovnoměrném příčném poklesu a roztažení budovy dochází v mnoha případech ke vzniku většího počtu staticky bezvýznamných trhlinek nebo trhlin (podhledy trámových stropů a jejich fabiony, praskliny v tenkých přičkách, poruchy omítek nebo malby), což nemůže mít vliv na únosnost a stabilitu nosných konstrukcí a také neovlivní bezpečnost provozu v budově.

Při základním hodnocení všech uvedených poruch bude základním rozhodujícím elaborátem pasportizace budovy před stavbou, což bude později významné rovněž i při jednání o případné náhradě škod.

Obecně lze konstatovat, že k vývoji uvedených poruch dochází rovněž i v případech provádění preventivního statického zajištění budov, které proto nemusí být vždy zcela efektivní.

## 9. Návaznost vizuálního sledování budov během ražeb a po ražbách

Vizuální sledování budov, které musí navazovat na pasportizaci, představuje jak optický, tak fotografický monitoring všech sledovaných budov. Tímto způsobem se tedy navazuje na pasport (technickou diagnostiku budov), zpracovaný před zahájením výstavby, který popisuje stav objektu v dotčené oblasti před zahájením stavebních prací.

Podle stavebně technického stavu příslušné posuzované budovy (podle klasifikace diagnostiky) bude určena i četnost sledování budovy. Cílem sledování bude průběžná a pravidelná kontrola všech dotčených prostorů v budově, a to v závislosti na technologických postupech nové výstavby.

Při uvedeném sledování a kontrole se zjišťuje, zda nedochází ke vzniku jevů charakterizujících poruchy na budovách, což prakticky znamená vznik nových nebo zvětšování starých trhlin vlivem nové výstavby, dále olupování malby, porušování omítek, porušování obkladů, deformační projevy v podlahách suterénů, odtržení nebo náklony zdí, příček nebo fasádových prvků, vše posuzováno vizuálně.

O průběhu sledování je vhodné vést záznam, případně fotodokumentaci s přesným datovým údajem. Pokud se počnou vyvíjet některé ze systémů uvedených poruch, provede prohlídku static, který posoudí jejich závažnost a rozhodne o návrhu dalších opatření, např. doporučí osazení sádrových indikátorů, deformometrického měření či jiné jednodušší geometrické sledování, popřípadě i korekci stavebního postupu. Vždy je důležité poskytnutí závažné informace včas. Pracovník provádějící vizuální sledování budov zaměřuje svoji pozornost ve zvýšeném rozsahu na budovy, kde výsledky prováděných měření signalizují větší hodnotové rozdíly oproti nulovému, tedy vstupnímu čtení. Výsledky a dokumenty vzniklé z této činnosti jsou jedním z důležitých faktorů při řešení požadavků majitelů či hospodářských správců budov na náhradu škod, které

## 9. The sequence of the visual monitoring of buildings during the excavation and after the excavation

Visual monitoring of buildings, which has to follow after the passportisation, comprises both optical and photographic monitoring of all concerned buildings. This is the way how to tie up with the passport (technical diagnostics of buildings) worked out before the construction beginning, describing the condition of the building found inside the concerned area before the commencement of the construction work.

The frequency of monitoring of the building will be specified depending on the technical condition of the respective assessed building (according to the diagnostics classification). The aim of the monitoring will be a continual and regular inspection of all affected spaces in the building, and whatever depends on the technological procedures of the new construction.

The above-mentioned monitoring and inspection consist of the determination whether any phenomena originate characteristic of defects of buildings (i.e. origination of new or deterioration of old cracks due to the new construction, leafing of wall painting, damaging of plastering, damaging of cladding, deformation of floor in basements, separation or tilting of walls, partition walls or external wall cladding). Everything is assessed visually.

It is advisable to keep records of the monitoring proceeding, or photographic documentation with exact dates in it. If any of the systems of the above defects start to develop, a structural engineer will carry out a survey. He will assess how serious the defects are and decide on the proposal on further measures, e.g. recommend on installation of plaster indicators, deformation measurement or another simpler observation, even a refinement of the construction procedure. Always important is to provide serious information timely. The worker who carries out the visual observation of buildings focuses especially on the buildings where the results of measurements signal bigger differences in the values compared to the zero condition, i.e. to the initial reading. The results and documents originating during this work are one of important factors in the process of settling the claims of owners or building administrators for damages made to the investor or contractor as consequences of their activities conducted in their neighbourhood.

The building monitoring process was not always continual, and inspections in plants or flats had to be subjected to the time-related requirements of operators or flat users. This meant inspections of buildings also beyond regular working hours, even in at night.

Once the monitoring of the buildings is finished in the time when the area of the construction site is declared as steady in terms of the measurements and in terms of the construction activities, it will be reasonable to carry out a final (shortened) diagnostics (a brief passportisation of the buildings) describing the final technical and structural condition of the buildings after the excavation completion. In general cases this is a rather complex analysis of development of already starting natural failures in various areas of the buildings. The technical issues and probabilistic patterns in the development of defects are solved by classification criteria of the methodology of limit states.

## 10. Main principles and phases of the measurement of the excavation effects

### First measurement phase

The first phase contains a prognosis on the behaviour of rock and proposal on suitable measures based on current knowledge, inclusive of studying of structural systems.

The first step of the first phase is collection and analysis of data on the current condition and parameters of the building and proposal on the construction technique.

The second step of the first phase is a prognosis of probabilistic conditions of the construction (excavation).

The transversal settlement trough in Palackého Street is schematically demonstrated on the following situation. The situation expresses a predicted idealised settlement trough developed on the basis of previous levelling.



Obr. 4 Provizorní výdřeva klenby v suterénu objektu  
Fig. 4 Temporary timber support under the vault in a building basement



Obr. 5 Příklad trhliny na fasádové zdi  
Fig. 5 Example of a crack in a front wall



později uplatňují na investorovi nebo na zhotoviteli díla jako důsledky jimi prováděných sousedních činností.

Činnost sledování budov během výstavby nebyla vždy souvislá a prohlídky v provozech či v bytech musely tedy být mnohdy podřízeny časovým požadavkům provozovatelů či uživatelů bytů, což tedy představuje prohlídky budov i mimo běžnou pracovní dobu a večer.

Po ukončení sledování budov v době, kdy je z hlediska měření, jakož i z hlediska stavební činnosti oblast staveniště prohlášena za uklidněnou, bude účelné provést závěrečnou konečnou (zkrácenou) diagnostiku (stručnou repasportizaci budov), která zhodnotí, jaký je výsledný stavebně technický a statický stav budov po realizaci raženého díla. V obecných případech se jedná o složitější analýzu vývoje již nastoupených přírodních poruch v různých oblastech budov. Technickou problematiku a pravděpodobnostní zákonitosti vývoje poruch řeší klasifikační hlediska metodiky mezních stavů.

## 10. Hlavní zásady a fáze měření vlivů od ražby

### První fáze měření

První fáze obsahuje prognózu o chování hornin a návrh vhodných opatření na základě stávajících znalostí, včetně studia konstrukčních soustav.

Prvním krokem první fáze je shromáždění a rozbor dat o stávajícím stavu, parametru stavby a návrhu technologie výstavby.

Druhým krokem první fáze je prognóza pravděpodobných podmínek výstavby (ražby).

Na následující situaci je schematicky znázorněna příčná poklesová kotlina v Palackého ulici, která vyjadřuje prognózovanou idealizovanou poklesovou kotlinu zkonstruovanou na základě již uskutečněných nivelačních měření. Vlastní prognóza poklesové kotliny je uvedena na dalším obrázku. Na základě metody objemové ztráty zeminy (loss of ground) jsme vyjádřili prognózu tvaru poklesové kotliny po průchodu obou štol. Je zřejmé, že sklon v inflexním bodě 1:930, vodorovný posun  $\delta$  a poměrná deformace v tahu základové spáry jsou hodnoty malé a nebudou mít vliv na statickou stabilitu objektů nacházejících se na této křivce.

Z tohoto důvodu nebude preventivně provedeno žádné statické zajištění v objektech, ale v průběhu ražby se bude postupovat podle varovných stavů observační metody.

### Druhá fáze měření

Druhá fáze zahrnuje vypracování programu polních měření, a to co, kde, jak a kdy měřit. Je nutno dosáhnout určité vyváženosti mezi počtem druhů měření, počtem míst a četností měření. Nesmí se zanedbávat vizuální sledování, které je často ekvivalentní metodám složitě přístrojové techniky. V případě měření pohybů je důležité pokrýt síť pozorovacích bodů celou plochu možného pohybu. Bývá často nesprávné soustředit se pouze na kritická místa. Je nutno instalovat přístroje dříve, než se započne se stavebními pracemi. Významné je několikrát opakované vstupní (nulové) čtení. Období odečítání údajů během výstavby představuje velmi intenzivní součinnost projektanta s měřiči a s dodavatelem.

### Třetí fáze měření

Třetí fáze spadá obvykle do rámce zodpovědnosti firmy, která je specializovaná na měření a na interpretaci jeho výsledků. Měřiči zodpovídají za spolehlivost odečítaných údajů, nikoliv však za jejich vyhodnocení (spolehlivost měření se všeobecně hodnotí jako důležitější než jeho přesnost). Ještě závažnější než vlastní měření je zpracování dat a jejich vyhodnocení, neboť zde může dojít četným omylům, nejasnostem a ke zdržením.

## 11. Souhrnný závěr pro aplikaci observační metody

Na základě obecně ověřených postupů se ze všech technických i ekonomických hledisek jeví jako optimální aplikace observační metody, a to při postupu měření, při sledování, jakož i při hodnocení všech sledovaných parametrů, tj. negativních vlivů na zástavbu. Observační metodu, jako ucelený program, který zahrnuje všechny možné kroky, nelze schematizovat pouze do dvou dosud často nejobvyklejších postupů, tj. řešení neočekávaně vzniklých problémů až v době plného rozběhu výstavby a provádění pouze běžného monitoringu k ověření platnosti prvního návrhu.

Aplikací hlavních zásad, observační metody pro objekty povrchové zástavby, byl umožněn úspěšný průchod průzkumných štol na ul. Palackého a ul. Velešlavina v Brně.

## Literatura

- TP 4. Statika stavebních konstrukcí. ČMT, Praha, 1915.
- VÚPS Praha: Státní výzkumná úloha P-12-326-431 „Rekonstrukce zděných a betonových konstrukcí“. Soubor realizačních výstupů v letech 1985 až 1987.
  - Metody hodnocení nosných konstrukcí železobetonových a zděných staveb určených k rekonstrukci: I.díl, prosinec 1985, II. díl, leden 1986.
  - Směrnice pro průzkum a hodnocení nosných částí staveb určených k rekonstrukci. Komentář k ČSN 730038, září 1987.
- Vaněk, T.: Rekonstrukce staveb. SNTL/ALFA, Praha, 1985.
- Sb. konf. Spolehlivost stavebních objektů. DT ČSVTS Plzeň, 1986.
- Sb. konf. Jakost a životnost pozemních stavebních objektů. ČSVTS, Prognostický ústav ČSAV, TAZÚS Praha, 1988.
- Pume, D. et al.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí. Edice stavby a rekonstrukce, ABF, ARCH, Praha 1993.
- Witzany, J.: Poruchy a rekonstrukce zděných budov. Technická knižnice TK 17. ČSSI ČKAIT, Praha 1999.

The prognosis of the settlement trough proper is shown in the other picture. Based on the Loss of Ground method, we expressed the prognosis of the shape of the settlement trough after the passage of the two galleries. It is obvious that the gradient at the inflexion point amounting to 1:930, horizontal displacement  $\delta$  and relative deformation at the level of the foundation base are small values and they will not affect the structural stability of the buildings found on this curve.

For the above reason no preventive structural support will be provided in the buildings, but the procedure during the excavation will be controlled according to warning states determined for the observation method.

### Second measurement phase

The second phase comprises the development of a programme of field measurements, where and when to measure. It is necessary to reach a certain balance between the number of types of the measurements, the number of locations and frequency of the measurements. The visual observation must not be neglected. It is always equivalent to the methods using complex instruments. It is important in case of measurement of movements to cover the entire area of possible movement with a network of observation points. It is often incorrect to focus on critical places only. Instruments must be installed before the construction work starts. The several times repeated initial (zero) reading is important. The period of reading the data in the course of the construction means very intensive co-operation between the designer, surveyors and the contractor.

### Third measurement phase

The third phase is usually the responsibility of the company specialised in the measurement and interpretation of the results. Surveyors are responsible for reliability of the data read, not for the interpretation (reliability of measurements is generally considered more important than the preciseness). The data processing and interpretation is even more significant than the measurement proper since numerous errors or ambiguities may originate in this process, followed by delays.

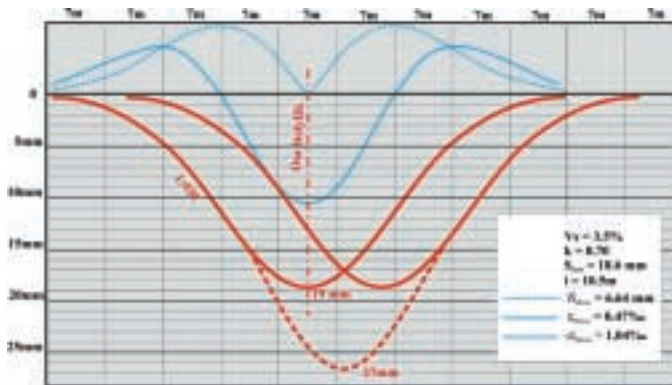
## 11. Summary conclusion on the application of the observation method

Based on generally proven procedures, the application of the observation method is considered as optimal from all technical and economic aspects for the phases of measurement, monitoring and assessment of all monitored parameters (i.e. negative impacts on buildings). The observation method, as a comprehensive programme comprising all steps possible, cannot be simplified as consisting of two till now the most usual procedures, i.e. solution of unexpectedly emerging problems in the time of the construction work being in full swing, and execution of common monitoring to prove the correctness of the initial proposal.

The application of the main principles of the observation method to existing surface buildings allowed the successful passage of the exploration galleries under Palackého and Velešlavina Streets in Brno.

## References

- Specification TP4. Structural analysis of building structures. ČMT, Prague, 1915.
- VÚPS Prague: State research project P-12-326-431 "Reconstruction to masonry and concrete structures". The set of realisation outputs in the years 1985 to 1987.
  - Methods of assessment of load-bearing structures of reinforced concrete and masonry buildings to be reconstructed: Part I, December 1985, Part II, January 1986.
  - Directive for the survey and assessment of load-bearing parts of buildings to be reconstructed. Commentary to the ČSN 73 0038, September 1987.
- Vaněk, T.: Reconstruction to buildings. SNTL/ALFA, Prague, 1985.
- Proceedings of conf. Reliability of buildings. DT ČSTVS Pilsen, 1986.
- Proceedings of conf. Quality and longevity of underground structures. ČSVTS, Prognostický ústav ČSAV, TAZÚS Prague, 1988.
- Pume, D. et al.: Investigation and repairs of building structures. Edice stavby a rekonstrukce, ABF, ARCH, Prague 1993.
- Witzany, J.: Defects and reconstruction of masonry buildings. Technická knižnice TK 17. ČSSI ČKAIT, Prague 1999.



Obr. 6 Predikce poklesové kotliny po ražbě obou štol  
Fig. 6 Prediction of the settlement trough after excavation of the two galleries

## DÁLNIČNÍ TUNEL PLASINA

### PLASINA MOTORWAY TUNNEL

ING. MILAN PRAŽÁK, SUBTERRA, a. s., PRAHA  
ING. DAVOR LUGOMER, HIDROELEKTRA NISKOGRADNJA, d. d., ZAGREB

#### ÚVOD

S rychlým rozvojem střední a východní Evropy vznikla potřeba výstavby moderního silničního spojení mezi severem Chorvatské republiky a přístavy, letovisky na pobřeží Jaderského moře. Dálnice Bregana – Záhřeb – Dubrovnik o celkové délce téměř 500 km je v současné době nejvýznamnějším infrastrukturním projektem v Chorvatské republice.

Protože dálnice svou převážnou částí prochází horskými oblastmi, tvoří ji i 13 tunelů, které jsou ve výstavbě. Celková délka tunelů je přes 40 kilometrů (počítaje vždy oba paralelní tunelové tubusy, jejichž osová vzdálenost je v rozmezí 30 m až 50 m).

Tunel Plasina je třetím nejdelším tunelem chorvatské dálnice, jeho ražba a provizorní zajištění ve vápencovém masívu je prováděno technologií NRTM.

#### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

Investor: Hrvatske Autoceste, d. o. o., Zagreb  
Zhotovitel: Subterra, a. s.

#### PLASINA TUNNEL

*Plasina Tunnel is one of many tunnels on the Bregana – Zagreb – Dubrovnik route which will connect Central Europe with the Adriatic Sea with a modern motorway. Construction of this motorway is a part of the Croatia's development plan, whose aim is to connect the Croatian coastline with the Hungarian and Slovenian border. The Plasina Tunnel is a 2300 m long twin-tube tunnel construction, executed in carbonate rocks by the NATM method.*

#### GEOGRAPHICAL POSITION AND MAIN FEATURES OF THE PROJECT

*The rapid advancement of central and eastern Europe has been followed by a need for the development of a modern road connection between the south of the Croatian republic and ports and resorts found along the Adriatic sea shore. The Bregana – Zagreb – Dubrovnik motorway with a total length of nearly 500 km is currently the most important infrastructure project in the Croatian republic.*



Obr. 1 Severní portál  
Fig. 1 North portal



Obr. 2 Trhací práce na čelbě  
Fig. 2 Blasting works in the heading



Délka každého tubusu: 2,3 km  
 Definitivní světlý profil tubusů: 56,5 m<sup>2</sup>  
 Šíře komunikace celková: 7,7 m  
 Šíře jízdních pruhů: 3,5 m  
 Doba výstavby: 22 měsíců, do 30. 6. 2004

### TECHNICKÉ ASPEKTY PROJEKTU

Ražba tunelu probíhá z obou stran, tedy na 4 čelbách. Poprvé v Chorvatsku je zhotovitelem společnost Subterra, a. s., Praha, prostřednictvím své chorvatské provozovny Subterra Zagreb. Ražba tunelu začala na severním portálu v listopadu r. 2002 a v březnu 2003 na jižním portálu (po předchozím vybudování příjezdových cest, portálů a zařízení stavenišť). Prorážky obou tunelových tubusů jsou plánovány v lednu r. 2004. Souběžně s ražbami se budou provádět betonáže tunelového definitivního ostění. V tomto kontraktu nejsou obsaženy dodávky elektrických zařízení, osvětlení a tunelových instalací (jsou předmětem následného kontraktu), ventilační systém má být podélný. Z bezpečnostního hlediska provozu tunelu je projektováno pět propojovacích chodeb, ve vzdálenostech 383 metrů, propojujících tunelové tubusy. Budou to čtyři průchody pro chodce a jeden průjezd pro vozidla - pro případ nutnosti přesměrovat dopravu. Projekt zahrnuje čtyři výklenky délek 43 m pro případy dočasného odstavení vozidel.



Obr. 3 Jižní portál v březnu 2003  
 Fig. 3 South portal in March 2003

Construction of this motorway is part of the Croatia's development plan. It connects the Croatian coastline with Hungarian and Slovenian road networks.

As a major part of the motorway passes through mountainous regions, it also contains 13 tunnels, which are under construction. The aggregated length of the tunnels exceeds 40 kilometres (if we count separately each of two parallel tubes spaced from 30m to 50m on centres).

With its length of 2,300m the Plasina tunnel is the third longest tunnel on this motorway. The tunnel passes under Plasina Hill found between Otočac and Ličko Lešće communities.

### ECONOMIC-TECHNICAL DATA ON THE PROJECT

The contractual cost of the construction of the two tunnel tubes Plasina at a length of 2,300m is about EURO 30 million, the tunnel casting operations are scheduled for completion on 31/06/2004. The tunnel excavation is carried out from both sides, i.e. at 4 headings.

It is for the first time in Croatia that Subterra a.s. Prague is the contractor, through its Croatian branch Subterra Zagreb together with the Croatian subcontractor Hidroelektra Niskogradnja d.d. Zagreb. The tunnel excavation started at the northern portal in November 2002, and in March 2003 at the southern portal (after the completion of access roads, portals and construction site facilities). Both tunnel tubes are scheduled for breaking through in



Obr. 4 Jižní portál – obě tunelové trouby  
 Fig. 4 South portal – both tubes

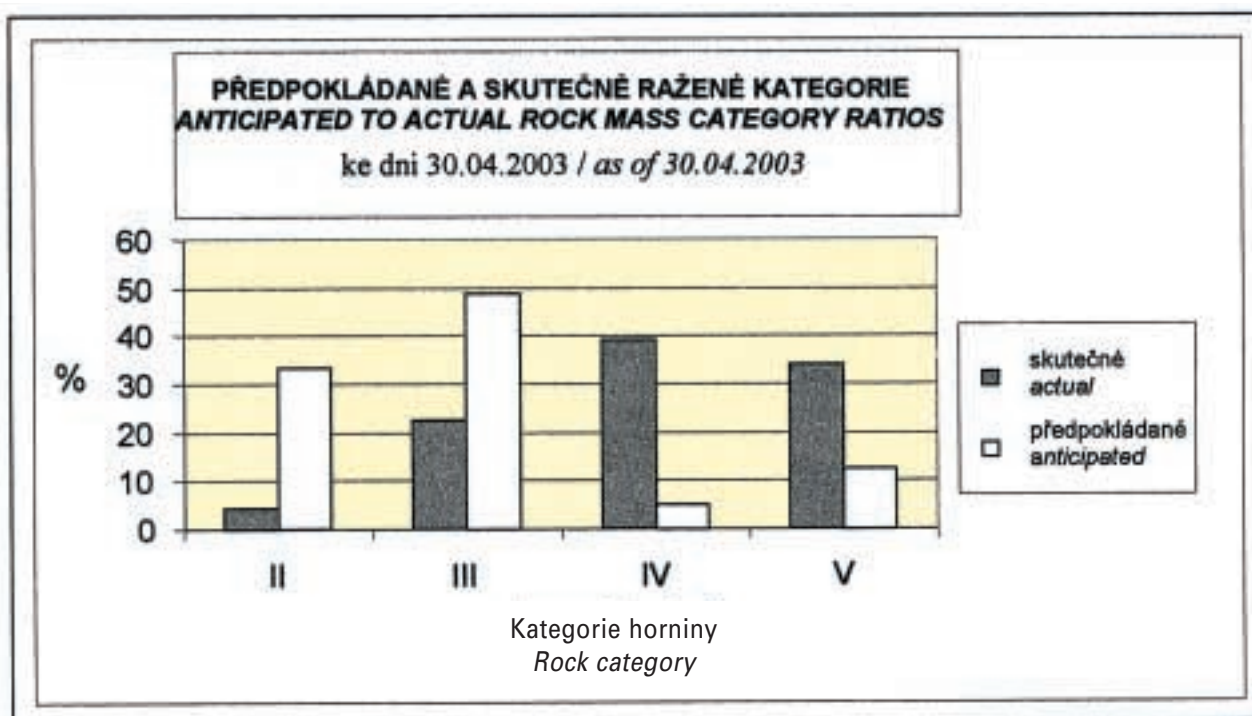


Diagram 1 Poměr kategorií horniny  
 Diagram 1 Ratio of rock mass categories

Tabulka 1. Poměr kategorií in situ

Kategorie	II	III	IV	V	CELKEM
In situ (%)	4,34	22,62	39,09	33,95	100,00
Odhadované (%)	33,50	49,00	5,00	12,50	100,00

## GEOLOGICKÉ POMĚRY

Protože vrch Plasina je součástí horského masivu Velebit, který je typickým vápencovým krasem charakteristickým pro celou oblast severního Středomoří, narazilo se již během prvního kilometru ražby (do května r. 2003) na celou řadu jevů, které jsou typické pro vápencový kras. Byly to kaverny, větší rozsedliny vyplněné zeminou, jámy a prolákliny vzniklé erozí vápence pod vlivem silných přívalových toků v dešťových obdobích. Tyto útvary se objevovaly na severním portálu v části počátečních sto metrech od portálu, kde nadloží nepřesahovalo 60 m. Lze očekávat, že ve střední části tunelu, ve které nadloží přesahuje 200 m, budou již tyto jevy vzácnější. Vlivem velkého tlaku vody za dešťového období mohou být útvary i větších rozměrů. Kategorie horniny podle kategorizace v průběhu prvního kilometru je znázorněna v diagramu 1.

Po prvním kilometru ražby tunelu je zřejmý rozdíl podílu vyražených metrů dle kategorie hornin odhadovaných se skutečnými kategoriemi horniny. Protože se geomechanické vlastnosti vápencových skal významně mění s výškou nadloží a s přibývajícím postupem ražeb se očekává i přechod z paleogenní vápencové brekcie do vápence z dolní křídly, není vyloučeno, že se poměr kategorií in situ přiblíží předpokládaným.

## TECHNOLOGIE VÝSTAVBY A REALIZOVANÉ POSTUPY

Ražba a navazující vyztužení tubusů tunelu jsou prováděny dle NRTM. Primární ostění tvoří stříkaný beton o tloušťce 5 cm až 15 cm se zabudovanou armaturní sítí a 3 m dlouhými adhesivními kotvami  $\varnothing$  25 mm. V páté kategorii zatřídění horniny je tloušťka stříkaného betonu 20 cm až 30 cm, kombinovaná s příhradovými vyztužnými oblouky 95/20/30, dvojitou armaturní sítí a samozavrtávacími svorníky  $\varnothing$  32 mm délky 4 m až 6 m. Protože vápenec této zóny charakterizuje poměrně nízká jednoosá pevnost v tlaku 40 MPa až 100 MPa a pod vlivem intenzivní tektoniky jeho výrazná rozpukanost, zvláštní pozornost se při ražbě soustřeďuje na přesný odpal vápencové horniny, aby nevznikaly nežádoucí nadvylomy. Pravidelně je sledována geometrie ražby, pozornost se soustřeďuje na využití obrysových náloží. Používají se neelektrické rozbušky pro aktivaci náloží, používané v horských oblastech z důvodu atmosférických výbojů. Nasazeny jsou vrtací stroje - Atlas Copco, Tamrock. Na staveništi byla vybudována betonárka s kapacitou 80 m<sup>3</sup>/h, zabudován drtič s třídičkou kamene pro dodávku frakcí do betonárky (využívá se kvalitní část odtěženého vápence). Stříkaný beton se zabudovává do tunelu stroji Cifa. Větrání tubusů je zajištěno ventilátory Korfmann o výkonu 180 kW umístěnými na portálech. Rozvod čerstvého vzduchu lehkým potrubím  $\varnothing$  2 m, 35 m<sup>3</sup>/s vzduchu na každou čelbu.

Plánované postupy ražby a primárního zajištění v tunelovém tubusu jsou dle projektu a dle kategorie horninového zatřídění: 10,8 m denně v II. kategorii; 6,75 m denně v III. kategorii; 4,05 m denně v IV. kategorii a 2,7 m denně v V. kategorii. Uvedené postupy jsou s ohledem na vybavenost stavby dosahovány a přesahovány až o 10 %.

## ZÁVĚR

Tento úspěšný projekt výstavby tunelu Plasina, jeho mezinárodní otevření se trhu, na jehož realizaci se podílejí renomované stavebně tunelářské společnosti, je příkladem vytváření podmínek pro vzájemnou výměnu zkušeností a spolupráci i v oblasti podzemních staveb. Výsledkem bude dílo citlivě začleněné do životního prostředí, které bude i mezinárodně široce využito, společně s navazujícími objekty, z důvodu výrazného zkrácení přepravní vzdálenosti a doby přepravy z vnitrozemí k pobřeží Chorvatska.

Table 1. Anticipated to actual rock category ratios

Category	II	III	IV	V	TOTAL
In situ (%)	4,34	22,62	39,09	33,95	100,00
Anticipated (%)	33,50	49,00	5,00	12,50	100,00

January 2004. The final tunnel lining will be cast concurrently with the excavation. This contract does not contain electrical and mechanical installations (they are the subject-matter of a following contract). Axial ventilation system is to be installed into the tubes. In terms of operational safety in the tunnel, five cross passages at 383m centres are designed to interconnect the tunnel tubes. Four cross passages are for pedestrians and one passage is for vehicles (in case of a necessity to reverse the traffic flow direction). The design also contains four breakdown bays, 43m long.

## GEOLOGY

As Plasina is part of the Velebit mountain range, which is a typical limestone karst massif characteristic of the entire northern Mediterranean area, a number of phenomena were encountered as early as during the excavation of the first kilometre (till May 2003) typical of the limestone karst, i.e. caverns, soil-filled crevasses, depressions and gullies resulting from the process of the limestone erosion due to torrential flows during rainy seasons. These forms were encountered at the northern portal within the initial hundred-metre section (the overburden thickness was less than 60m). Rather scarce occurrence of the karst phenomena can be expected in the central part of the tunnel where the cover thickness exceeds 200 m.

Anticipated rock mass categories and actual categories encountered during the excavation of the first kilometre – see Diagram 1.

The difference between the actually encountered rock categories and anticipated categories has been obvious since the excavation of the first kilometre of the tunnel. Geomechanical properties of the limestone rock vary significantly with the overburden thickness. A transition from the Palaeogene limestone breccia environment to limestone of the Lower Cretaceous rock formation is expected with the growing progress of the excavation. Therefore one cannot exclude that the gap between the anticipated and actual rock categories will become narrower.

## EXCAVATION TECHNIQUE AND CROSS PASSAGES

The excavation and subsequent support of the tunnel tubes is carried out by the NATM. Primary lining comprises 5 – 15cm thick shotcrete with welded mesh and 3m-long adhesion-type anchors, 25mm in diameter. For the fifth rock category, the shotcrete layer thickness varies from 20cm to 30cm, and is combined with lattice girders 95/20/30, two layers of mesh and self-drilling rockbolts (32mm in diameter, 4 – 6m long). The limestone in this zone is characterised by low uniaxial compression strength of 40 MPa to 100 Mpa; the rock mass is expressively broken due to an intensive tectonics.

Particular attention is paid to precise blasting operations in the limestone so that undesired overbreaks are prevented. The excavation geometry is monitored regularly, with focusing on the application of contour blasting. Charges are initiated by non-electric detonators, which are in use in mountainous regions because of atmospheric discharges typical for those regions.

Atlas Copco and Tamrock drilling rigs are deployed. The construction site is equipped with a batching plant with a 80 m<sup>3</sup>/h capacity, and a crusher with a sizing machine supplying aggregates for the batching plant (a quality part of the limestone debris is used). Shotcrete is applied in the tunnel using Cifa machines. The tunnel tubes are ventilated by 180 kW Korfmann fans installed at the portals. Fresh air is distributed by 2m-diameter ducts supplying 35 m<sup>3</sup>/s to each heading.

Planned advance rates of the excavation and primary support installation in the tunnel tube given by the design are, depending on the rock category: 10.8m per day in category II; 6.75m per day in category III; 4.05m per day in category IV and 2.7m per day in category V.

The above advance rates have been exceeded by up to 10%.

## CONCLUSION

This successful Plasina Tunnel project is open for the international market. Two renowned civil engineering tunnelling companies from central and southeastern Europe share the construction work. The tunnel is an example of how to create conditions for mutual exchange of experience and collaboration in the sphere of underground construction.

The resulting structure will be incorporated into the environment, which will be widely internationally used together with relevant traffic structures. Distances will become shorter significantly, and driving safety will be improved.



# HODNOCENÍ RIZIK TUNELŮ MĚSTSKÉHO OKRUHU V PRAZE

## RISK ASSESSMENT IN TUNNELS AT PRAGUE CITY RING ROAD

DOC. ING. PAVEL PŘIBYL, CSc.  
ELTODO EG, a. s.

### Abstrakt

V článku je popisována metodika hodnocení rizik v silničních tunelech založená na kauzálních sítích. Princip spočívá ve výpočtu pravděpodobnosti nehody nebo požáru pro dané stavební, technologické a organizační uspořádání tunelu. Metoda byla aplikována na stávající a nově projektované tunely na městském okruhu v Praze. Z jedné strany bylo prokázáno, že všech šest zkoumaných tunelů vyhovuje z hlediska kritéria rizik, na druhé straně použitá metoda umožňuje posoudit velikost přínosů v nárůstu bezpečnosti i při dílčím zlepšení vybavení tunelu.

### ÚVOD

V Praze jsou jako součást vnitřního komunikačního okruhu, nazývaného Městský okruh, v provozu tunely Strahov a Zlíchov. V roce 2004 bude uveden do provozu tunel Mrázovka a v následujících letech budou postupně budovány tunely s pracovními názvy Střešovice, Dejvice a Stromovka. Všechny tyto tunely by měly skýtat přibližně stejnou míru bezpečnosti pro účastníky silničního provozu. Cílem projektu, který řešilo pět organizací pod vedením Satra, s. r. o., bylo navrhnout metodu pro oceňování rizik a touto metodou ohodnotit rizika v hotových i připravovaných tunelech městského okruhu. Při hodnocení tunelů připravovaných pro výstavbu se používaly projektované parametry.

Pro toto oceňování byla použita příčinná (kauzální) síť využívající Bayesovu metodu. Podrobný rozbor s konkrétními výsledky je uveden v lit. [1]. Cílem rozboru byla kvantifikace rizik poškození zdraví v každém z tunelů, jako podklad pro případné úpravy ve stavebním nebo technologickém vybavení.

### 1. PRINCIP POUŽITÉ METODY

V prvních krocích řešení byly popsány stavovým modelem dvě základní události mající vliv na ohrožení osob a materiální ztráty. Jednalo se o událost typu dopravní nehoda a požár. Na zjištění události a jejím řešení se podílí řada subsystémů. Ty byly rozloženy až na úroveň prvků, které byly expertem ohodnoceny ve stupnici 1 až 5. Následně bylo hodnocení vloženo do kauzální sítě a softwarovým produktem HUGIN byla vypočítána rizika pro každý z tunelů.

### Summary

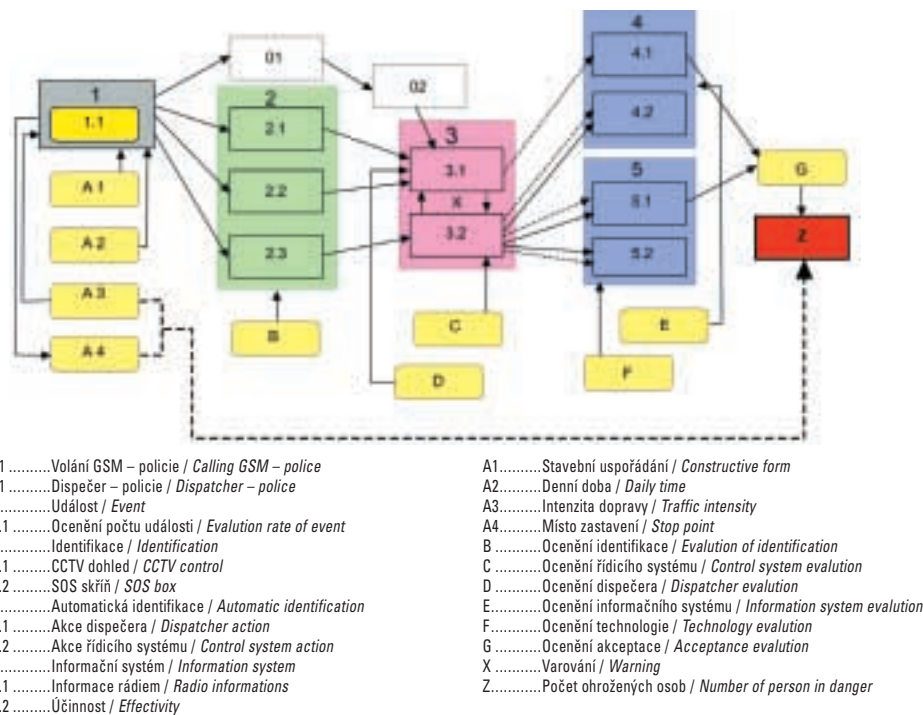
The article describes the methodology of risk assessment in road tunnels based on causal networks. The principle lies in calculation of probability of an accident or fire for the given structural, technological or administrative setup of the tunnel. This method has been applied on existing and newly designed tunnels on the Prague city ring road. On one hand it was proved, that all six examined tunnels comply with the risk criteria, on the other the used method enabled to determine the contribution to increased safety by even partial improvement of the tunnel equipment.

### INTRODUCTION

The tunnels Strahov and Zlíchov are currently in operation as part of the inner road circuit in Prague, called the City ring road. The Mrázovka tunnel will be put into operation in 2004 and in the following years, tunnels with operational names Střešovice, Dejvice and Stromovka will be constructed one after another. All these tunnels should offer approximately the same level of safety for the traffic participants. The goal of the project, solved by five organizations under the leadership of Satra s.r.o., was to propose a method for risk assessment and use this method to evaluate risks in constructed and as well as designed tunnels at the city ring road. Designed parameters were being used by evaluations of tunnels still under preparation. A causal network, utilizing the Bayes method, has been used for this evaluation. For detailed analysis with particular results see lit. [1] The goal of the analysis was to quantify risks of health impacts in each tunnel, as a basis for potential adjustments in the engineering or technological equipment.

### 1. USED METHOD PRINCIPLE

As a first step, the two basic events that have an impact on human and material casualties were defined by a condition model. The conditions, i.e. the events were a car accident and a fire. Several subsystems take part in detecting the event and its solution. These were decomposed to a level of units, which experts marked on the scale 1 through 5. Subsequently, these values were entered into the causal network and risks for each tunnel calculated by the HUGIN software product.



Obr. 1 Diagram stavů tunelového systému pro událost typu „Nehoda“  
Fig. 1 Table of tunnel system conditions for the category „accident“

Kvalitativní hodnocení subsystémů								
Tunel Délka úseku [km] /délka tunelu [km]	Výkon za rok v 1 směru [mil. voz. km]	Významné faktory a jejich hodnocení						
		Dopravní řešení	Stavební řešení	Dopr. inf. systém	Přístup. a únikové cesty	Požární bezpeč- nost	Větrací systém	Technol. vybavení
(02)	(01)	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1. Tunel 1 1,5/0,2	3	2,1	3,2	2,5	2,2	1,9	1,5	2,3
2. Tunel 2 1,3/1,3	16	2,6	3,2	2,5	2,7	2,3	1,7	1,9
3. Tunel 3 2,3/2,3	40	2,3	2,8	2,9	3,6	3,0	2,3	2,5
4. Tunel 4 1,4/1,4	18	2,3	3,1	2,3	1,1	1,8	1,5	1,6
5. Tunel 5 1,6/1,2	14	2,4	2,3	2,3	1,1	1,8	1,7	1,6
6. Tunel 6 3,5/3,0	35	2,4	1,7	2,3	1,1	1,7	1,4	1,6

Tab. 1 Vyhodnocení šesti tunelů městského okruhu

Qualitative evaluation of subsystems								
Tunnel section length [km] /tunnel length [km]	Traffic volume per year in 1 direction [mil. veh. km]	Significant factors and their values						
		Traffic solution	Structural solution	Traffic information systems	Access and escape ways	Fire safety	Ventilation system	Techno- logical equip- ment
(02)	(01)	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1. Tunnel 1 1,5/0,2	3	2,1	3,2	2,5	2,2	1,9	1,5	2,3
2. Tunnel 2 1,3/1,3	16	2,6	3,2	2,5	2,7	2,3	1,7	1,9
3. Tunnel 3 2,3/2,3	40	2,3	2,8	2,9	3,6	3,0	2,3	2,5
4. Tunnel 4 1,4/1,4	18	2,3	3,1	2,3	1,1	1,8	1,5	1,6
5. Tunnel 5 1,6/1,2	14	2,4	2,3	2,3	1,1	1,8	1,7	1,6
6. Tunnel 6 3,5/3,0	35	2,4	1,7	2,3	1,1	1,7	1,4	1,6

Tab. 1 Evaluation of 6 tunnels on the City Ring Road route

### 1.1 STAVOVÝ MODEL UDÁLOSTÍ V TUNELU

Pro oceňování rizik byly jako rozhodující z hlediska bezpečnosti hodnoceny události kategorie „Nehoda“ a „Požár“. Popis chování systému se pro obě tyto události liší a na ukázkou je popsán stavový model typu „Nehoda“, obr. 1. Na vznik události mají vliv **vstupní podmínky** (žluté bloky – stavební uspořádání, intenzita dopravy, apod.). Událost může být **identifikována** několika způsoby (zelené bloky – kamery, SOS skříně, apod.). Po zjištění události následuje **reakce systému** (červené bloky), například prostřednictvím dopravněinformačního systému je nutné sdělit řidiči, že může/musí reagovat daným způsobem (modré bloky – rádio, dopravní značky ...). V případě události typu dopravní nehoda je tedy základem zjištění události, reakce systému a předání pokynů účastníkům provozu dopravněinformačním systémem. Ve stavovém modelu jsou tedy zachyceny jednotlivé subsystémy vykonávající globální (makro) funkce.

#### METODIKA OCEŇOVÁNÍ SUBSYSTÉMŮ

Subsystémy tedy vykonávají nadřazené makrofunkce. Při jejich oceňování je nutné provést rozklad každého subsystému na prvky realizující elementární funkce. Tyto funkce jsou pak expertně posouzeny a je jim přiřazena číselná hodnota mezi 1 a 5: číslo 5 označuje zcela nevyhovující funkci, číslo 3 se přiděluje pro standardní funkci a 1 pro nadstandardní funkci. Komplexní posouzení několika stovek funkcí vyžadovalo pracovat v databázovém systému ACCESS. Pro každý prvek byl zpracován formulář, umožňující do značné míry objektivizovat expertní hodnocení. Příklad formuláře pro třídu **Požární senzory** a prvek **Liniový hlásič v tunelu** je na obr. 2.

#### SUBSYSTÉMY OVLIVŇUJÍCÍ BEZPEČNOST TUNELŮ

Po diskusích v řešitelském kolektivu a testování různých metod byla pro ohodnocování rizik zvolena metoda kauzální sítě navržená prof. Holickým. Vstupem do kauzální sítě jsou výstupy ocenění následujících subsystémů získané na základě expertního přístupu popsaného v předcházejícím textu: **Dopravní řešení** – oceňuje dopravní řešení, intenzity dopravy, možnosti manévrů vozidel v tunelu, skladby vozidel apod. **Stavební řešení** – oceňuje trasu v tunelu, provedení komunikací, křižovatkové úseky, barevné provedení apod.

### 1.1 CONDITION MODEL OF EVENTS IN THE TUNNEL

The event categories "accident" and "fire" were crucial for risk assessment from the viewpoint of safety. Description of the system behavior for both of these events differ, for illustration there is a described condition model of category "accident" on Fig. 1. **Input conditions** (yellow fields – structural setup, traffic intensity etc) have an impact on occurrence of the event. The event can be **identified** by several methods (green fields – cameras, SOS boxes etc). After detecting of the event, **system response** follows (red fields), for instance by means of the traffic – information system it is necessary to inform the driver, that he can/must respond in the given way (blue fields – radio, traffic signs etc) In case of event of the category "traffic accident", the principle is detecting the event, the system response and passing of instructions to the traffic participants using the traffic – information system. Thus in the condition model, individual subsystems are recorded performing global (macro) functions.

#### METHODOLOGY FOR EVALUATION OF SUBSYSTEMS

Subsystems are thus now performing superior macro-functions. In their evaluation, it is necessary to carry out decomposition of each subsystem into units performing elementary functions. Experts then evaluate these functions and mark them by numbers 1 through 5: where 5 denotes absolutely substandard function, 3 denotes standard function and 1 above standard function. A complex evaluation of several hundred functions required working in the ACCESS database system. There was a form elaborated for each unit, allowing to a certain extent to provide objectiveness for the experts' evaluation. For the example of form for the class **Fire sensors** and the unit **Linear tunnel detector** see Fig. 2.

#### SUBSYSTEMS WITH IMPACT ON TUNNEL SAFETY

After discussions within the project team and testing of various methods, a method of causal network proposed by Prof. Holický was selected for the risk assessment. Input of the causal network is represented by output of evaluations of the following subsystems, based on the expert approach described in the previous paragraph: **Traffic solution** – evaluates traffic solution, traffic intensity, possibility for vehicle maneuvering in the tunnel, distribution of vehicles etc. **Structural solution** – evaluates the tunnel alignment, design of roadways, intersections, color design etc.

Obr. 2 Formulář pro vyhodnocování prvků subsystémů (název a kategorie hodnocení).  
Fig. 2 Form for evaluation of subsystem units (name and category of evaluation)



**Dopravněinformační systém:** oceňuje dopravní značení, informační systémy, možnost zastavení vozidel apod.

**Přístupové a únikové cesty:** oceňuje pozice a množství únikových cest, jejich provedení, přístupové cesty pro záchranné složky apod.

**Požární bezpečnost:** komplexně oceňuje požární zabezpečení, hydranty, možnosti a rychlost zásahu, organizační zajištění apod.

**Větrací systém:** oceňuje ventilační zařízení hlavně z hlediska požáru, výkonost, možnost separace kouře apod.

**Technologické vybavení:** oceňuje řídicí systém, osvětlení, napájecí soustavu, manuály pro obsluhu, organizační opatření apod.

Základní výstupy ocenění subsystémů jednotlivých tunelů jsou zachyceny v tab. 1. V rozboru se uvažuje šest tunelů (uvedených v tabulce pod čísly 1 až 6) a sedm subsystémů uvedených ve sloupcích tabulky pod čísly (0) až (6). Prognózané výkony dopravy udané ve vozo-kilometrech [voz. km] jsou pro jednotlivé tunely uvedeny ve sloupci (01).

## 1.2 KAUZÁLNÍ SÍŤ

Příčinná (kauzální) síť, která byla použita pro ohodnocování rizik, je znázorněna na obr. 3 a zachycuje výše uvedené subsystémy mající vliv na bezpečnost tunelu. Síť obsahuje sedm subsystémů (rozhodovací uzly s čísly 0 až 6), sedm náhodných uzlů (s čísly 7 až 13) a sedm uživatelských uzlů (s čísly 15 až 21). Jde o Bayesovskou kauzální síť, lit. [5] a [6], sestavenou pro analýzu rizik v silničních tunelech. Uzly sítě jsou spojeny šipkami, které zachycují jejich příčinné vazby. Příčinné vazby mezi jednotlivými uzly jsou popsány vstupními údaji (podmíněnými pravděpodobnostmi a ukazateli rizika).

U každé vazby se rozlišují příčinné (rodičovské) uzly a uzly následné (potomci). Síť na obr. 3 zahrnuje jeden počáteční uzel (0-Doprava) bez příčinného uzlu a sedm koncových uzlů (všechny uživatelské uzly 15 až 21) bez následných uzlů. V provedené analýze se uvažuje pouze o riziku poškození zdraví znázorněné uživatelským uzlem 21. Vazby na ostatní uživatelské uzly (15 až 20) a vazby na příslušné uzly jsou na obrázku zachyceny s ohledem na další náklady spojené s případnou úpravou existujících tunelů nebo se změnou současné projektové dokumentace.

### ROZHODOVACÍ UZLY (0 AŽ 6)

Rozhodovací uzly představují úroveň subsystémů a využívají hodnoty odhadnuté expertem na základě skutečného stavu nebo navrhovaného stavu podle projektové dokumentace. Výsledná hodnocení, která jsou uvedena v tab. 1, jsou vyjádřena číselnou hodnotou v rozmezí 1 až 5.

**0. Doprava.** Popisuje dopravní řešení a uspořádání jízdních pruhů v tunelech (směrové oblouky, stoupání, klesání, přípojovací pruhy, odbočovací pruhy a řadu dalších prvků). Výsledek expertního hodnocení je ve sloupci (0) tab. 1

**1. Stavba.** Popisuje stavební řešení tunelů (délku, spád, počet a šířka pruhů, atd.).

**2. Informační systém.** Popisuje dopravněinformační systém vyznačující dopravní využití jízdních pruhů v tunelu; při hodnocení se vychází ze skutečného stavu nebo očekávaného řešení v projektové dokumentaci.

**3. Únikové cesty.** Popisuje vzdálenosti a kapacitu zásahových a únikových cest. V rozboru se uvažuje hodnocení hasičských expertů.

**4. Požární bezpečnost.** Popisuje rozsah instalace protipožárního vybavení. Úrovně uvedené v tab. 1 vyplývají z expertního vyhodnocení.

**5. Větrání.** Popisuje úroveň větracího systému (např. ventilačních šachet, kanálů, atd.).

**6. Technologický systém.** Popisuje úroveň technologického vybavení tunelu (např. vybavení nezbytné pro funkci světelných orientačních tabulí, které ovlivňuje funkci dopravněinformačního systému (uzel 14), protipožárního vybavení (uzel 10), větracího systému (uzel 12) a přímo ovlivňuje riziko poškození zdraví (uzel 21).

**Traffic-information systems:** evaluates traffic signs, information systems, possibility to stop cars etc.

**Access and escape ways:** evaluates positions and number of escape ways, their design, and access ways for rescue units etc.

**Fire safety:** evaluates comprehensively fire safety, hydrants, possibility and speed of intervention, administrative measures etc.

**Ventilation system:** evaluates ventilation equipment mainly from the viewpoint of fire, efficiency, possibility of smoke separation etc.

**Technological equipment:** evaluates the control system, illumination, power network, manuals for personnel, administrative measures etc.

For basic output of subsystem evaluations in individual tunnel see . The analysis considers six tunnels (in rows 1 through 6 in the table) and seven subsystems (in columns under numbers 0 through 6). For estimated traffic output in vehicle-kilometers in individual tunnels see column (01).

## 1.2 CAUSAL NETWORK

Causal network, which was used to evaluate risks, is illustrated by Fig. 3 and shows the aforementioned subsystems with impact on tunnel safety. The network has seven subsystems (decision-making nodes with numbers 0 through 6), seven random nodes (with numbers 7 through 13) and seven utility nodes (with numbers 15 through 21). It is a Bayesian causal network, see lit. [5] and [6], designed for risk assessment in road tunnels. Network nodes are linked by arrows, which denote their causal relations. Causal relations between individual nodes are defined by the input data (conditional probabilities and risk indicators).

For every relation, there are causal (parental) nodes and consequent nodes (descendant). Network in Fig.3 includes one original node (0-traffic) without a causal node and seven terminal nodes (all utility nodes 15 through 21) without any consequent nodes. The elaborated analysis considers only one risk of injury to health, illustrated by the utility node 21. Relations to other utility nodes (15 to 20) and relations to correspondent nodes are illustrated with regards to the additional expenses due to potential adjustments of existing tunnels or change in existing design documentation.

### DECISION-MAKING NODES (0 THROUGH 6)

Decision-making nodes represent the level of subsystems and use the value estimated by an expert, based on real condition and the proposed one according to design documentation. Final values, which are illustrated by , are expressed by numbers on scale 1 through 5 :

**0. Traffic.** Defines traffic solution and layout of traffic lanes in tunnels (directional curves, ascending, descending, merging lanes, turning lanes and other elements). For the result of expert evaluation see column (0) of the Tab. 1.

**1. Structure.** Defines structural solution of the tunnel (length, slope, number and width of lanes etc).

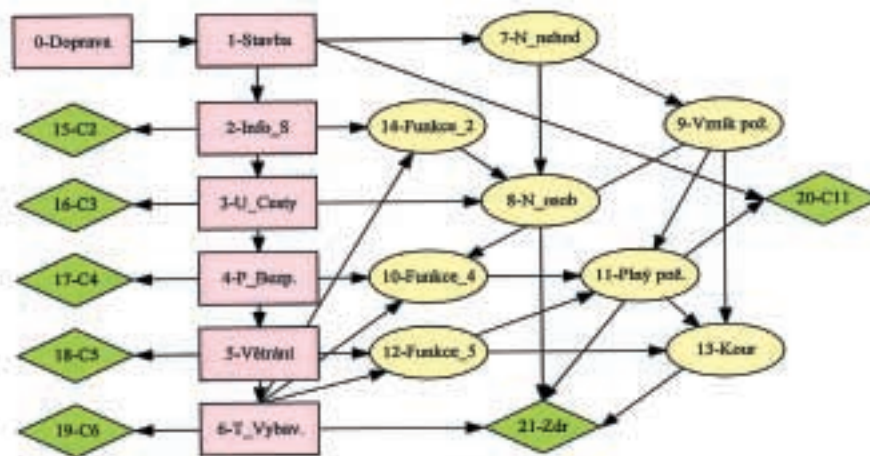
**2. Information system.** Defines traffic information system, marking the traffic use of lanes in the tunnel, evaluation was based on either the real condition or the expected solution according to design documentation.

**3. Escape ways.** Defines distances and capacity of rescue access and escape ways. Evaluation of fire brigade experts is considered in the analysis.

**4. Fire safety.** Defines the range of installation of the fire-fighting equipment. Levels in derive from the expert evaluation.

**5. Ventilation system.** Defines the level of the ventilation system (ventilation shafts, canals etc)

**6. Technological system.** Defines level of technological equipment in the tunnel (for instance equipment essential for functioning of illuminated orientation signs, which has an impact on function of the traffic information system (node 14), fire-fighting equipment (node 10) and directly influences the risk of injury to health (node 21)).



Obr. 3 Příčinná síť pro rozbor rizik tunelů  
Fig. 3 Causal network for the analysis of risks tunnels

## NÁHODNÉ UZLY (7 AŽ 14)

7. **Počet nehod.** Popisuje počet vážných nehod (nehody se zraněním a požárem) v jednotlivých tunelech v závislosti na dopravním a stavebním řešení.  
 8. **Počet osob.** Popisuje počet vážně ohrožených osob v tunelu při dopravní nehodě.  
 9. **Vznik požáru.** Popisuje pravděpodobnost iniciace požáru.  
 10. **Funkce 4.** Popisuje funkční schopnost větracího systému.  
 11. **Plný požár.** Popisuje pravděpodobnost plného rozvinutí požáru v závislosti na uzlech 9, 10 a 12.  
 12. **Funkce 5.** Popisuje funkční schopnost větracího systému.  
 13. **Kouř.** Popisuje intenzitu kouřových plynů v závislosti na příčných uzlech 11 a 12.  
 14. **Funkce 2.** Popisuje funkční způsobilost dopravněinformačního systému (uzel 2) v závislosti na úrovni technologického vybavení (uzel 6).

## UŽITKOVÉ UZLY (15 AŽ 21)

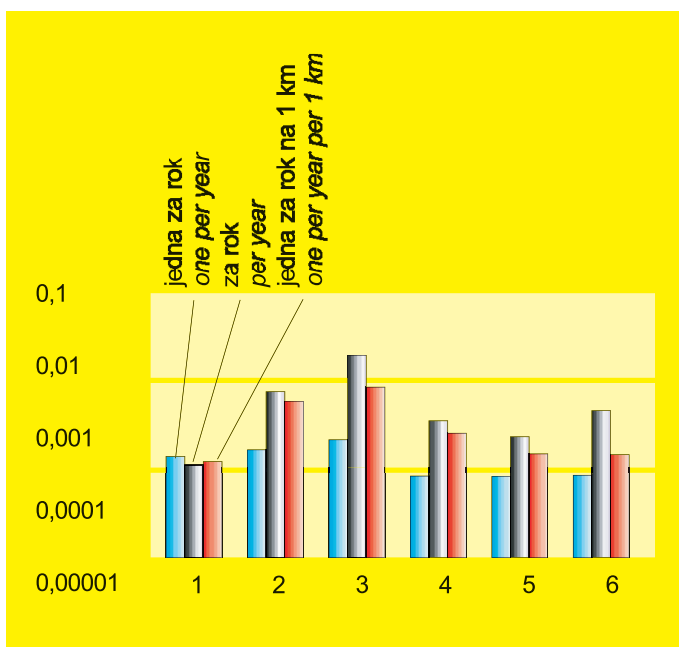
Náklady na vybudování či zdokonalení existujícího dopravněinformačního systému (15. **C2**), náklady na vybudování či zdokonalení přístupových a únikových cest (16. **C3**), náklady na pořízení nebo zdokonalení protipožárního vybavení (17. **C4**), náklady na změny ventilačního systému (18. **C5**), náklady na změny technologického vybavení (19. **C6**) a škody způsobené plným rozvinutím požáru (20. **C11**) se v rozboru zatím neuvažují. Uvažuje se však nepřímé poškození zdraví (21. **Zdraví**), které zachycuje míru nepřímého poškození zdraví při dopravní nehodě (jednotkou poškození zdraví je smrtelný úraz). V rozboru se uvažuje míra poškození zdraví v závislosti na stavech příčných uzlů 6, 8, 11 a 13 podle tabulky 8.

## 2. VÝSLEDKY HODNOCENÍ

Výsledná rizika při jedné nehodě, obr. 4, se pohybují v rozmezí od nejmenší hodnoty 0,014 u tunelu 1, do největší hodnoty 0,0204 u tunelu 3. Rizika za rok se však pohybují v širším rozmezí od nejmenší hodnoty 0,011 u tunelu 1, do největší hodnoty 0,192 u tunelu 3. Konečně sociální rizika za rok na jeden kilometr trasy se pohybují v rozmezí od nejmenší hodnoty 0,011 u tunelu 6, do největší hodnoty 0,083 u tunelu 3.

Hodnoty sociálních rizik za rok lze interpretovat jako počet smrtelných úrazů v tunelu za jeden rok. Riziko u tunelu 3 tedy naznačuje, že na jednom km tunelu by mohlo v průměru dojít k jednomu smrtelnému úrazu za 12 let. U všech tunelů je riziko vztažené na jeden kilometr a jeden rok nižší než požadovaná limitní hodnota 0,1 (viz dále), a proto u žádného tunelu není nutné uvažovat o úpravách s cílem zlepšit subsystémy.

Jako příklad vyšetřování rizik v závislosti na vybavení technologií může sloužit tunel 3. Ten má základní riziko ohodnocené na 0,083, což se již blíží hranici 0,1. Snížení rizika v tomto tunelu je možné zlepšením dopravněinformačního systému (instalace světelných návěstidel a informačních tabulí v tunelu) a zlepšením technologického vybavení, viz. obr. 5. Současnou úroveň sociálního rizika na rok a jeden kilometr 0,083 lze snížit na hodnotu 0,05 jestliže se oba subsystémy zlepší na úroveň tunelů 4 až 6, u kterých je hodnocení dopravněinformačního systému 1,8 a hodnocení technologického vybavení 1,5.



Obr. 4 Sociální rizika tunelů, při jedné nehodě, za rok a za rok na 1 km  
 Fig. 4 Social risks in tunnels, with one accident, per year and per year per 1 km

## RANDOM NODES (7 THROUGH 14)

7. **Number of accidents.** Defines the number of severe accidents (accidents with injuries and fire) in individual tunnels in dependence on the traffic and structural solution.  
 8. **Number of persons.** Defines the number of seriously endangered persons during the accident  
 9. **Fire ignition.** Defines the probability of fire ignition.  
 10. **Function 4.** Defines functioning ability of the ventilation system.  
 11. **Full-spread fire.** Defines the probability of full-spread fire in dependence on the nodes 9, 10 and 12.  
 12. **Function 5.** Defines functioning ability of the ventilation system.  
 13. **Smoke.** Defines intensity of smoke gases in dependence on the causal nodes 11 and 12  
 14. **Function 2.** Defines functioning ability of the traffic information system (node 2) in dependence on the level of the technological equipment (node 6).

## UTILITY NODES (15 THROUGH 21)

Cost of construction or improvement of the existing traffic-information system (15. **C2**), cost of construction or improvement of access and escape ways (16. **C3**), cost of foundation or improvement of the fire-fighting equipment (17. **C4**), cost of improvement of the ventilation system (18. **C5**), cost of changes in the technological equipment (19. **C6**) and material casualties caused by full-spread fire (20. **C11**) are not yet considered in the analysis. What is considered, however, is the indirect injury to health (21. **health**), which expresses the level of indirect injury to health from traffic accident (fatal injury is the unit of the injury to health). The analysis considers the level of injury to health in dependence on the conditions of causal nodes 6, 8, 11 and 13 according to table 8.

## 2. EVALUATION RESULTS

Resultant risks by one accident range between a minimum of 0,014 in tunnel 1 to a maximum of 0,0204 in tunnel 3. Risks per year, however, have a wider range between a minimum of 0,011 in tunnel 1 to a maximum of 0,192 in tunnel 3. Finally the social risks per year per one kilometer range between a minimum of 0,011 in tunnel 6 to a maximum of 0,083 in tunnel 3.

Values of the social risks per year can be interpreted as a number of fatal injuries in the tunnel per one year. Risk in the tunnel 3 thus suggests, that there could be in average one fatal injury per one tunnel kilometer every 12 years. In all tunnels is the risk, related to one kilometer and one year, lower than the required minimal value of 0,1 (see further) and therefore there is no need to consider adjustments to improve the subsystems in any of the tunnels.

The tunnel 3 can serve as an example for investigation of risks in dependence on the technological equipment. It has a basic risk of 0,083, which is already close to 0,1. Risk in this tunnel can be reduced by improvement of the traffic-information system (installation of light and information signs in the tunnel) and improvement of the technological equipment, see Fig. 5. The existing level of social risk per year per one kilometer 0,083 can be reduced to 0,05, in case both subsystems will improve on the level of tunnel 4 through 6, which have the value 1,8 for traffic-information system and 1,5 for the technological equipment.

## 2.1.1 CRITERIA OF SOCIAL RISKS

Comparison of derived estimates of social risks of subsystems and the entire tunnel system with generally acceptable values illustrated by Fig. 6 is an important part of the analysis as well as the risk assessment.

International standard is based on the widely accepted value of annual individual risk of fatal injury 10<sup>-6</sup>. The generally acceptable value of risk for more persons endangered by one accident is commonly derived from the relation

$$P(R > N) < A \cdot N^k$$

where  $R$  is the estimate risk (number of fatal injuries),  $N$  is the acceptable number of fatal injuries,  $A$  and  $k$  are convenient parameters, lit. [4], [5] shows three alternatives of this criterion:

Upper limit for  $A = 0,1$  and  $k = 1$ ,

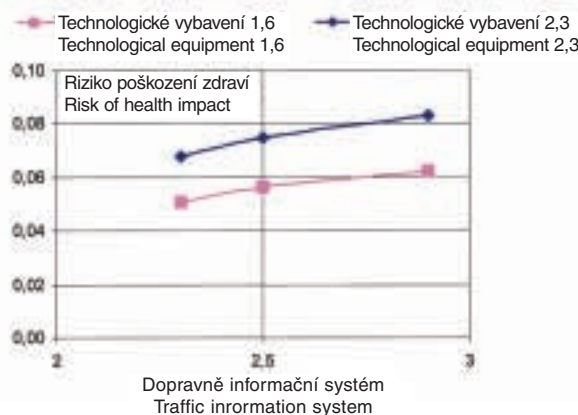
Mean for  $A = 0,1$  and  $k = 2$ ,

Lower limit for  $A = 0,01$  and  $k = 2$ .

The upper limit defines highest acceptable values, lower limit then generally accepted values of risks. Area between the upper and lower limit is often determined as ALARP (As Low As Reasonably Possible), within which it is recommended to reduce the actual values if possible. Mean value of the acceptable risk corresponding to parameters  $A = 0,1$  a  $k = 2$  was considered by assessment of the Westerschelde tunnel, lit. [9], (per year per one tunnel km) and therefore it is also recommended for assessment of tunnel structures in the Czech republic.

According to this criterion, risk in the tunnel can be considered as acceptable, if there is one fatal injury per year per one kilometer of tunnel with probability lower than 0,1. As implies from the elaborated analysis, this criterion is fulfilled in each of the examined tunnels.





Obr. 5 Sociální rizika tunelu 3 za rok a jeden km v závislosti na kvalitě dopravněinformačního systému a technologickém vybavení  
Fig. 5 Social risks in tunnel 3 per year per 1 km in dependence on the quality of traffic information system and the technological equipment

### 2.1.1 KRITÉRIA SOCIÁLNÍCH RIZIK

Důležitou součástí rozboru a hodnocení rizik je porovnání odvozených odhadů sociálního rizika subsystémů a celého tunelového systému se společensky přijatelnými hodnotami znázorněnými na obr. 6.

Mezinárodní norma vychází z obecně přijímané hodnoty ročního individuálního rizika smrtelného úrazu 10<sup>-6</sup>. Společensky přijatelná hodnota rizika pro více ohrožených osob při jedné nehodě se obecně udává vztahem

$$P(R > N) < A N^k$$

kde R je odhadnuté riziko (počet smrtelných úrazů), N je přijatelný počet smrtelných úrazů, A a k jsou vhodné parametry, lit. [4], [5]. Obr. 6 ukazuje tři varianty tohoto kritéria:

Horní hranice pro A = 0,1 a k = 1,

střední úroveň pro A = 0,1 a k = 2,

dolní hranice pro A = 0,01 a k = 2.

Horní hranice udává nejvýše přijatelné hodnoty, dolní hranice pak všeobecně přijatelné hodnoty rizik. Oblast mezi horní hranicí a dolní hranicí se často označuje zkratkou ALARP (As Low As Reasonably Possible – co možno nejnižší hodnoty), ve které se doporučuje skutečné hodnoty pokud možno snížit. Střední úroveň přijatelného rizika odpovídající parametrům A = 0,1 a k = 2 se uvažovala při hodnocení tunelu ve Westerschelde, lit. [9] (na jeden km tunelu a jeden rok), a doporučuje se proto také pro hodnocení tunelových staveb v České republice.

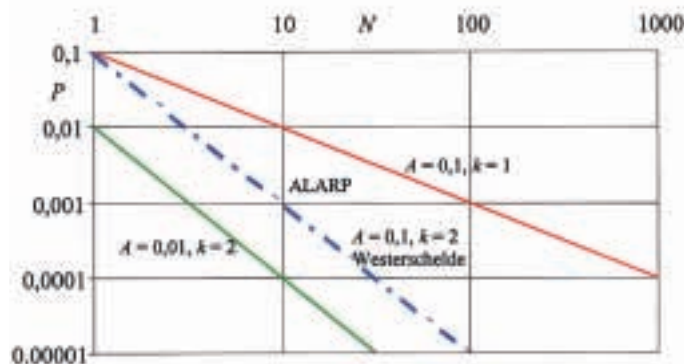
Podle tohoto kritéria lze riziko tunelu považovat za přijatelné pokud k jednomu smrtelnému úrazu na jednom km tunelu za rok dojde s pravděpodobností menší než 0,1. Jak plyne z provedeného rozboru, je toto kritérium u všech zkoumaných tunelů dodrženo.

### ZÁVĚRY

Při hodnocení bezpečnosti tunelových staveb se většinou silně projevují subjektivní názory, které často vedou na jedné straně ke zbytečnému předimenzování systému, což s sebou nese vysoké investiční a provozní náklady, nebo na druhé straně se tunel nevybaví potřebnými systémy a lidské životy jsou v přímém ohrožení. Využití metodiky expertního posouzení subsystémů s následným hodnocením rizik kauzální sítě do značné míry objektivizuje posouzení tunelů.

Uvedený rozbor sociálních rizik pro šest tunelových staveb v Praze ukazuje, že úroveň rizik na jeden km a jeden rok se pohybuje v rozmezí od 0,01 do 0,1. U všech tunelů je však dodržena požadovaná hodnota 0,1 smrtelného úrazu na jeden kilometr a jeden rok a není tedy nutné navrhovat žádné dodatečné úpravy. U všech tunelů je sledované riziko však nižší než požadovaná 0,1, je však vyšší než hodnota 0,01 (u některých tunelů jen mírně) a pohybuje se tedy v oblasti ALARP, pro kterou se obecně doporučuje zvážit možnost vhodných úprav s cílem zlepšit ještě bezpečnost provozu. Největší riziko je u tunelu 3, u kterého dosahuje hodnoty 0,083 a u tunelu 2, u kterého dosahuje hodnoty 0,057.

Při návrhu žádoucích úprav tunelů je však třeba přihlídnout k technickým možnostem a ekonomické náročnosti úpravy v jednotlivých tunelech. Podkladem pro nejhodnější řešení uvažovaných úprav mohou být dodatečné rozborů a optimalizace celkových nákladů, které by vedle sociálních rizik zahrnovaly ekonomické náklady na zamýšlené úpravy.



Obr. 6 Společensky přijatelná sociální rizika.  
Fig. 6 Generally acceptable social risks

### CONCLUSIONS

During evaluation of safety in tunnel structures, subjective opinions very often take place, which generally lead either to needless over-dimensioning of the system, which brings high investment and operating costs, or insufficient equipment of the tunnel with essential systems and human lives are thus in direct danger. Use of the methodology of expert evaluation of the subsystems with subsequent risk assessment by causal network gives the tunnel evaluation a certain level of objectiveness.

The aforementioned analysis of social risks in 6 tunnel structures in Prague shows, that the level of risks per one kilometer per year ranges between 0,01 and 0,1. The required level of fatal injuries 0,1 per one kilometer per year is kept in all tunnels and therefore it is not necessary to propose any additional adjustments. Although the observed risk in all tunnels is lower than 0,1, it is higher than 0,01 (only slightly in some tunnels) and therefore it falls within the ALARP area, for which it is generally recommended to consider the possibility of appropriate adjustments with a goal to still improve the safety of operation. The highest risk is in tunnel 3 with value of 0,083 and in tunnel 2, where the value reaches 0,057.

Nevertheless, by proposals for desired adjustments in tunnels it is necessary to take into consideration technical feasibility as well as economic demands of the adjustments in individual tunnels. A supplementary analysis and optimization of total costs, which would beside social risks also include economic costs of the proposed adjustment, could be the basis for the most favorable solution of the considered adjustments.

### Literatura / Literature

- 1) Dvořák J. a kol.: „Studie bezpečnosti provozu tunelových staveb západní části městského okruhu v úseku Barrandovský most-Pelc Tyrolka, Satra, no. 014/02-100, July 2002, page 74
- 2) Thamm B. Sicherheitsfragen beim Betrieb von Strassentunneln: Eine Analyse europäischer Regelungen. Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V., STUVA, Köln, 2001.
- 3) Holický M. & Schleich J.-B.: Modelling of a Structure under Permanent and Fire Design Situation. Proc. of Safety, Risk and Reliability - Trends in Engineering. International Conference, Malta, 21/23.3.01, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 789-794, ISBN 3-85748-120-4, 2001.
- 4) Holický M. & Schleich J.-B. 2001. Probabilistic Risk Analysis of a Structure in Normal and Fire Situation Including Life Safety. Proc. of the International Conference ICOSSAR 2001, Newport Beach, California, USA, to be published, 2001.
- 5) Finn V. Jensen: Introduction to Bayesian networks. Aalborg University, Denmark, 1996.
- 6) Hugin System, Version 5.7, professional. Hugin Expert A/S, Niels Jernes Vej 10, DK-9220 Aalborg, 2001.
- 7) ISO 2394 General principles on reliability for structures. ISO, Geneva, 1998.
- 8) A. Vrouwenvelder, M. Holický, C.P. Tanner, D.R. Lovegrove, E.G. Canisius: CIB Report. Publication 259. Risk assessment and risk communication in civil engineering. CIB, 2001.
- 9) Worm E.W. Safety concept of Westerschelde tunnel, manuscript of an article submitted by the SARA company in 2002.
- 10) Melchers R.E. Structural Reliability Analysis and Prediction. John Wiley & Sons, Chichester, 1999, 437 p.
- 11) Steward M.S. & Melchers R.E. Probabilistic Risk Assessment of Engineering System. Chapman & Hall, London, 1997, 274 p.
- 12) Ellingwood B.R. Probability-Based Structural Design: Prospect for Acceptable Risk Bases. Application of Statistics and Probability Icaasp 8. Balkema Rotterdam, 1999, pp. 11-18.
- 13) Holický, M. Fuzzy Probabilistic Optimisation of Building Performance. Automation in Construction, V. 8/4, 1999, pp. 437- 443.
- 14) Holický M. & Schleich J.-B. 2001. Probabilistic Risk Analysis of a Structure in Normal and Fire Situation Including Life Safety. Proc. of the International Conference ICOSSAR 2001, Newport Beach, California, USA, ICOSSAR 01, A.A. Balkema Publishers, 2001, ISBN 905809 197 X, p. 127.

## ZLEPŠENÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI TUNELŮ NA PĚT PÍSMEN

### IMPROVEMENT OF FIRE SAFETY IN TUNNELS WITHIN FIVE LETTERS

ING. JIŘÍ ŠTEFAN, ING. JIŘÍ ŘEHÁK  
ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY, s. r. o.

**Abstrakt:** Článek seznamuje čtenáře s projektem Evropské unie UPTUN, který je zaměřen na zvyšování požární bezpečnosti stávajících tunelových staveb na celém území Evropy. Projekt UPTUN se účastní 41 státních a soukromých organizací z členských zemí Evropské unie a asociovaných zemí. Cílem projektu je nalézt nové inovativní technologie, které mohou významným způsobem přispět ke zvýšení požární bezpečnosti tunelů.

Pokud bychom s nadsázkou položili tuto otázku i zkušenému luštiteli křížovek, asi by se nenašlo příliš správných odpovědí. A to přestože evropský projekt, jehož název obsahuje pět písmen – UPTUN – je zatím největší akcí podobného typu co do množství zúčastněných partnerů i co do objemu vynaložených prostředků. Samotný akronym názvu projektu UPTUN (v originále Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels) vyjadřuje, že je zaměřen na zlepšení požární bezpečnosti již existujících tunelů.

Celá evropská ekonomika je velmi závislá na dopravním systému a tunely v něm hrají klíčovou roli, protože v našich geografických podmínkách jsou tím úzkým místem, jehož dočasné vyřazení je velmi citelné. Bezpečnostní vybavení těchto staveb by mělo podobným případům předcházet nebo alespoň omezit důsledky nehod, bylo však většinou projektováno na menší dopravní zátěž před deseti či více lety.

Tento projekt, finančně podporovaný Evropskou komisí, si klade nelehký úkol – v celoevropských podmínkách zlepšit požární bezpečnost existujících silničních i železničních tunelů. Využití výsledků tohoto projektu přinese užitek všem provozovatelům tunelových technologií, a to při použití finančně efektivních metod. Oficiální zahájení proběhlo po roce přípravných prací na společném mítinku v září 2002 v holandském Delftu a harmonogram prací počítá se 4 roky vzájemně koordinovaných činností.

Snaha zlepšit bezpečnost provozu v tunelech není žádný nový požadavek a velmi mnoho čtenářů tohoto odborného časopisu se s těmito otázkami již setkalo, má o jejich řešení řadu poznatků nebo i přímo ve své práci se touto otázkou zabývá. Každá organizace, která tyto otázky ze své profese řeší, má v této oblasti za sebou kontinuitu pohledu na otázku bezpečnosti provozu v tunelech a speciálně požární bezpečnosti – začíná od návrhu stavební části tunelu, pokračuje přes jeho technologické vybavení a končí u provozního řádu tunelu. Proto je potřeba, pokud někdo chce přijít s novými pohledy na tuto problematiku, aby použil jiný přístup – tím je v tomto případě skutečně největší počet účastníků ze všech obdobných projektů. Samotný počet 41 účastníků ze 17 států je sice úctyhodný, ale neméně důležitý je jejich výběr. Spektrum účastníků v projektu UPTUN sahá od specialistů zabývajících se detaily konstrukce stavební části přes firmy působící ve vývoji a výrobě technologického vybavení až po organizace zabývající se dopravou všeobecně. Úplný výčet najde zájemce spolu s jejich charakteristikou na přehledných webových stránkách na adrese <http://www.uptun.net>. Ze strany České republiky byly organizátory projektu vybrány organizace Centrum dopravního výzkumu (TRC-CDV), firmy Cervenka consulting a ELTODO dopravní systémy. Samotné spektrum činností těchto tří účastníků (výpočty a modelování v dopravě, numerická analýza struktur a tvorba řídicích systémů) dokumentuje široký rozsah projektu UPTUN.

Hlavní cíle projektu představují zejména:

- vývoj nových inovativních metod zaměřených na ohodnocení míry požárního rizika, stanovení obecného modelu ohodnocování požární bezpečnosti;
- vývoj nových progresivních technologií, které mohou výrazným způsobem zvýšit požární bezpečnost stávajících tunelových staveb. Důraz je kladen na oblast detekce a monitorování požáru, technologie zabraňující šíření požáru a technologie zabraňující strukturálnímu poškození vlastní stavební části tunelu. Cílem je nalézt taková opatření, která budou pokud možno finančně nenáročná a zároveň je bude možné snadno nasadit v kombinaci se stávajícím technologickým popřípadě stavebním vybavením tunelu;
- přenesení výstupů projektu do povědomí odborné veřejnosti a tím i jejich přenesení do praxe.

Předpokládá se zároveň, že v důsledku zvýšení požární bezpečnosti tunelů dojde k obnovení důvěry občanů k tunelům jako bezpečné části dopravních tras a zároveň k odstranění psychologických obchodních bariér, které představují potenciálně nebezpečné tunely.

Takové velké množství činností rozdělených mezi pracoviště po celé Evropě nejde koordinovat bez vhodné organizační struktury. Pracovní činnosti jsou rozděleny do sedmi technických skupin (WP1 až WP7 – Work Packages), osmá pracovní skupina představuje management projektu (WP0). V čele projektu stojí řídicí výbor (Steering Board). Koordinací s ostatními projekty Evropské unie zaměřenými na problematiku bezpečnosti tunelů zajišťuje poradní výbor (Advisory Group).

První čtyři pracovní skupiny (WP1-4) jsou zaměřeny na vývoj nových technologií v oblasti snižování pravděpodobnosti vzniku a zmírňování důsledků požáru. Cílem páté a šesté pracovní skupiny (WP5-6) je nalezení kombinace vhodných

**Abstract:** The article informs readers about the UPTUN, the European Union's project focused on the improvement of fire safety in existing tunnels throughout Europe. Forty-one governmental and private organisations from member countries of the European Union and associated countries currently take part in the UPTUN project. The objective of this project is to find new innovative techniques which can significantly contribute to the improvement of fire safety in tunnels.

We would probably receive no great number of correct answers if we asked even experienced crossword puzzles users about a five-letter term for the system of improvement of fire safety in tunnels. This would be so despite the fact that the European project UPTUN is currently the most significant activity of its type, in terms of the number of participants and the volume of the means expended. The acronym of the UPTUN project means the Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels.

The entire European economy considerably depends on the transport system. Tunnels play a key role in this system as, in our geographical conditions, they are the bottleneck whose temporary closing has very severe impacts. Safety equipment of tunnel structures should prevent the occurrence of such events, or should at least limit consequences of accidents. However, this equipment was mostly designed ten or more years ago for conditions of lower traffic intensity.

This project, supported financially by the European Commission, set itself a difficult task of improving the fire safety in existing road and railway tunnels throughout Europe. The application of results of this project, using cost-effective methods, will be profitable for all operators of tunnel equipment. The official opening took place, after a year of preparation work, in a joint meeting in September 2002 in Delft, the Netherlands. The work schedule allows for 4 years of jointly co-ordinated activities.

The effort to improve the operational safety in tunnels is no new requirement. Many readers of this professional magazine have met the related issues, have quite good knowledge of how they are solved or deal with them professionally. Each organisation whose business involves solving these issues possesses a thorough awareness of the issue of operational safety in tunnels and especially the fire safety. The issue begins from the structural design of the tunnel, continues through to its equipment, and ends in the tunnel operation regulations. Therefore, if somebody wants to come up with new views of this issue, he or she must use a new approach. This new approach requires using the highest possible number of participants from all similar projects. The figure of 41 participants from 17 countries may be respectable, but their selection is no less important. The spectrum of the UPTUN project participants reaches from specialists dealing with structural detailing through to companies having their business in equipment development and manufacturing, to organisations involved in the sphere of transport in general. A complete list of the participants, together with their description, can be found on the web site <http://www.uptun.net>. The project organisers selected the following organisations from the Czech Republic: Centrum dopravního výzkumu (TRC-CDV, Traffic Research Centre), Cervenka Consulting and ELTODO Dopravní Systémy. The spectrum of activities of its three participants (calculations and modelling in traffic, numerical analysis of structures and development of control systems) itself documents the wide scope of the UPTUN project.

Main objectives of the project consist above all of:

- development of new innovative methods focused on the assessment of fire risk, development of a general model of fire safety assessment
- development of new progressive equipment capable of improving fire safety in existing tunnels. Stress is placed on fire detection and monitoring, fire spread prevention equipment and equipment preventing damages to tunnel structures. The goal is to find such measures which will be as financially undemanding as possible, and at the same time will be easily applied in combination with existing equipment or tunnel structures.
- Implementation of the project results in the awareness of the professional public, thus their transfer to practice.

At the same time it is expected that the improved fire safety in tunnels will result in restoration of citizen trust in tunnels as a safe part of transport routes, and at the same time in removal of psychological trade barriers represented by potentially dangerous tunnels.

Such a large scope of activities distributed among work places throughout Europe cannot be co-ordinated without an adequate organisation structure. The work activities are divided into seven technical packages (Work Packages WP1 to WP7). The eighth work package deals with project management (WP0). The UPTON is headed by the Steering Board. Co-ordina-



opatření, která ve svém důsledku výrazně zvýší požární bezpečnost tunelových staveb. Sedmá pracovní skupina (WP7) si klade za úkol seznamovat odbornou veřejnost s výsledky celého projektu a takto výrazným způsobem přispět k zavedení výsledků projektu do praxe. Informační toky mezi jednotlivými pracovními skupinami jsou znázorněny na obrázku 1, na kterém je patrná úzká vazba na další projekty Evropské unie, jako jsou FIT a DARTS.

V dalším textu bude uveden krátký popis činnosti v rámci jednotlivých pracovních skupin:

### WP1 PREVENCE, DETEKCE A MONITOROVÁNÍ

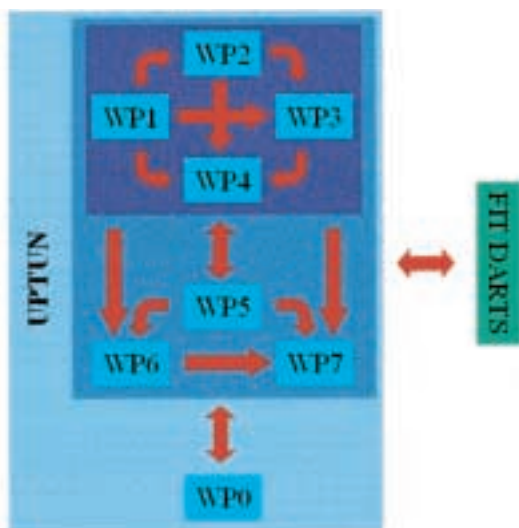
Pro dosažení cílů – tj. zvýšení požární bezpečnosti existujících tunelů – je nejprve nutno zmapovat stávající situaci. Tato pracovní skupina má velmi rozsáhlý úkol vytvoření databáze všech silničních a železničních tunelů v Evropě. Údaji databáze budou informace o vlastnostech tunelů a sahají od geografických dat (zeměpisná poloha, země) přes technické provedení (se specializací na detekční a monitorovací systémy) až po údaje související s provozem konkrétního tunelu (počet nehod, jejich následky a konkrétní poznatky z řešení jednotlivých případů). Samostatným problémem, který bude také řešen v rámci této pracovní skupiny, je použití nových metod detekce požáru a stanovení jeho rozsahu. Stávající metody detekce požáru v tunelových stavbách využívají techniky obvyklé ve standardních kancelářských budovách nebo průmyslových komplexech. Snahou je nalézt takové technologie, které se oproti od stávajících metod detekce požáru a budou využívat zcela nových postupů (například detekce požáru uvnitř nákladového prostoru vozidla, techniky detekce požáru prostřednictvím analýzy obrazu systémů videodohledu, detekce požáru v prostoru před tunelovými portály apod.).

### WP2 VÝVOJ POŽÁRU A STANOVENÍ ÚČINNÉHO POSTUPU PRO ZMÍRNĚNÍ NÁSLEDKŮ POŽÁRU

Tato pracovní skupina si klade za cíl zjistit pomocí matematických simulací optimální metody pro minimalizaci následků požáru. Prostředkem, kterým chce tohoto cíle dosáhnout, je především optimalizace činnosti ventilačního systému při požárech a případně použití systému pracujícího s vodní mlhou. Optimalizovaný scénář činnosti ventilace bude zohledňovat konkrétní podmínky na daném tunelu (např. délku, sklon, průřez, únikové cesty, typ provedení – 1 nebo 2 tubusy) a bude dynamicky zohledňovat vstupy od měřících systémů CO, viditelnosti, teploty, detekce požáru aj. V rámci této pracovní skupiny budou dále prohlubovány techniky tzv. vzduchových zátek, které v případě požáru zabrání šíření kouře a jedovatých zplodin tubusem tunelu. Pracovní skupina se bude kromě hledání možných způsobů konstrukce těchto vzduchových zátek zabývat volbou vhodných míst pro umístění vzduchových zátek nebo technikami jejich včasné dopravy k místu požáru.

### WP3 LIDSKÉ ZDROJE (LIDSKÝ FAKTOR)

Jak ukazují dosavadní případy kritických událostí, velmi často se stalo, že chování lidí zúčastněných v této události, a tím jsou míněny obsluhy operátorských pracovišť, členové záchranných týmů i lidé, kteří se náhodou ocitli v dění události, nebylo ekvivalentní její povaze či rozsahu. Rozhodnutí byla často vydávána na základě neúplných či žádných informací a byla činěna ve stresu způsobeném rychle se měnící situací, rychlým šířením toxického dýmu a sálavého horka. Aby se zabránilo dalším případům, kdy cestující navzdory pokračujícímu vývinu dýmu zůstanou sedět ve svých vozidlech nebo obsluha tunelové technologie spustí ventilaci v nesprávném směru, je předmětem práce této skupiny. V rámci činnosti této pracovní skupiny budou hledány nové techniky koordinace činností mezi jednotlivými záchrannými složkami, snahou bude převzít zkušenosti z evakuačních plánů jiných staveb, jako jsou stadiony, letiště apod. Důraz bude kladen na vývoj nových zařízení zaměřených na poskytnutí informací ohroženým osobám o evakuačních cestách i v podmínkách velmi snížené viditelnosti.



Obr. 1 Informační toky mezi WP

Fig. 1 Information flows between the WPs

tion with the other European Union projects that are focused on the issues of safety in tunnels is carried out by the Advisory Group.

The first four work groups (WP1 – WP4) are focused on the development of new technologies in the sphere of reducing the likelihood of a fire and minimizing consequences. The goal of the fifth and sixth work groups (WP5 and WP6) is to find a combination of suitable measures which will result in a substantial improvement in fire safety of tunnel structures. The task of the seventh work group (WP7) is to inform the professional public about the results of the entire project, thus to contribute substantially to the introduction of the results of the project into practical use. The information flow between individual work groups are shown in Fig. 1. The close relationship with other European Union's projects, e.g. the FIT or DARTS, is obvious.

A brief description of the activities dealt with in the framework of individual work groups:

### WP1 PREVENTION, DETECTION AND MONITORING

The first task to be fulfilled if we want to reach the goals, i.e. to improve the fire safety in existing tunnels, is to map the current situation. This work group has an extremely comprehensive task of developing a database of all road and railway tunnels in Europe. The database will contain data regarding properties of the tunnels, starting from geographical data (geographical position, country) through technical design (with a specialisation to detection and monitoring systems) to data connected with the operation of a particular tunnel (number of incidents, their consequences and concrete knowledge gained in solving individual cases). A separate issue, which will also be solved by this work group, is the application of new methods of fire detection and identification of the extent of the fire. Current methods of fire detection in tunnels use equipment common in standard administration buildings or industrial complexes. The objective is to find such techniques which will replace the current methods of fire detection with totally new procedures (e.g. detection of a fire inside the cargo space of a vehicle, detection of a fire in the area in front of tunnel portals etc.).

### WP2 DEVELOPMENT OF A FIRE AND DETERMINATION OF AN EFFICIENT METHOD TO ALLEVIATE THE FIRE CONSEQUENCES

This work group has set a goal to find, by mathematical simulation, optimal methods of how to minimise fire consequences. The group is going to reach this goal primarily by means of optimisation of the operation of the ventilation system during fires and alternatively the application of a system working with water mist. The optimised scenario of the ventilation operation will take into consideration specific conditions existing at the given tunnel (e.g. its length, gradient, cross section, escape routes, configuration – 1 or 2 tubes) and will dynamically allow for the data provided by CO, visibility and temperature measurement systems, fire detection systems etc. As a part of this work package, the techniques of so-called air plugs, which prevent smoke and noxious gases from spreading through the tunnel tube in case of a fire, will be improved. Apart from searching for possible methods of construction of the air plugs, the work group will deal with the selection of locations suitable for the installation of air plugs or techniques of their transport to the location of fire on time.

### WP3 HUMAN RESOURCES (HUMAN FACTOR)

As previous cases of critical events show, it happened very frequently that the behaviour of people involved in the event, which means the staff of operating centres, members of rescue teams, even people who were caught in the particular event by chance, was inappropriate regarding the nature and extent of the fire. Decisions were often rendered on the basis of incomplete or no information, and they were made under stress due to a rapidly changing situation, fast spreading of toxic smoke and radiating heat. The subject of the WP3 group's work is how to prevent new fire events in which passengers remain sitting in their vehicles despite continuing development of smoke, or operators of the tunnel equipment turn the ventilation on in the wrong direction. In the frame of this group's work, new techniques of co-ordination of activities among respective components of the rescue system will be sought. The group will try to utilise the experience gained from evacuation plans developed for other structures as stadiums, airports etc. Stress will be placed on the development of new facilities to provide endangered persons with information about escape routes, even in very low visibility.

### WP4 THE IMPACT OF FIRE DEPENDING ON THE TUNNEL STRUCTURE – CONSEQUENCES FOR THE STRUCTURE FABRIC

The objective of this work group is to propose how to optimise structural design of existing tunnels. As opposed to the WP2, this package is focused directly on the structural design, with the aim of proposing changes and construction procedures to minimise the impact of a fire (the heat component above all) on tunnel structure, procedures and materials to accelerate repairs to damaged areas, and eventually to specify new safety recommendations for tunnel design, and complement existing guidelines for tunnel structures.

**WP4 ÚČINKY POŽÁRU V ZÁVISLOSTI NA KONSTRUKCI TUNELU – NÁSLEDKY VE STRUKTURE STAVBY**

Cílem této pracovní skupiny je navrhnout optimalizaci stavebních částí stávajících tunelů. Na rozdíl od WP2 je přímo zaměřena na konstrukci staveb s cílem navrhnout úpravy a stavební postupy, které by minimalizovaly vliv požáru (především tepelné složky) na tunelovou stavbu, postupy a materiály, které zrychlí opravy poškozených míst a nakonec ustanoví nová doporučení pro návrh tunelových staveb z hlediska bezpečnosti i doplní stávající doporučení pro tunelové stavby.

**WP5 ZVÝŠENÍ ÚROVNĚ BEZPEČNOSTI A VYLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍCH TUNELŮ**

Tato pracovní skupina tvoří jádro celého projektu. Náplní činnosti je shromáždit poznatky pracovních skupin 1 až 4, vyhodnotit a navrhnout kombinaci vhodných opatření, která maximálním způsobem zvýší bezpečnost stávajících tunelů. Velký důraz bude kladen na technicko-ekonomickou proveditelnost navržených opatření. Výsledky práce této skupiny budou postupně předávány pracovní skupině číslo 6, která bude provádět ověřování vhodnosti navržených opatření prostřednictvím modelování.

**WP6 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY A TESTOVÁNÍ**

Experimentální ověření teoretických výstupů je pracovní náplní šesté skupiny. Zde se ověří výsledky prací prvních pěti skupin a pokud budou potvrzeny, nic nebude bránit jejich předání poslední sedmé skupině. Předpokládá se ověření výsledků prostřednictvím následujících modelů:

- model vývoje požáru v závislosti na navržených protipožárních opatřeních;
- model odezvy stavebních částí v průběhu vývoje požáru;
- dynamický model chování osob;
- sociálně-ekonomický model důsledků nehod uvnitř tunelů.

Uvedené modely umožní postupnou optimalizaci navržených bezpečnostních opatření s využitím metod numerických optimalizací a expertních systémů.

**WP7 OSVĚTA, PROPAGACE ČINNOSTI, DALŠÍ VZDĚLÁVÁNÍ A ŠKOLENÍ**

Jak je z posledního bodu zřejmé, je důraz kladen na to, aby se výsledky činnosti tohoto projektu dostaly mezi veřejnost na správná místa – na výzkumná pracoviště, projekční kanceláře, školy, složky dopravní policie, provozovatele tunelových technologií, vládní orgány a veřejnost vůbec. Protože užitek z toho projektu, jak již bylo v úvodu naznačeno, mohou mít všichni, i ti, kteří se ho přímo aktivně neúčastní.

Na obrázku číslo 2 je graficky znázorněna působnost jednotlivých pracovních skupin na zjednodušeném modelu vývoje požáru v tunelu. Na ose x modelu je vyneseno čas od vzniku požáru, na ose y pak vzdálenost od ohniska požáru. První výsledky projektu UPTUN, který je nejvýznamnějším projektem zaměřeným na zvyšování bezpečnosti tunelů v Evropě, budou známy v již v průběhu roku 2003. Budeme o nich prostřednictvím časopisu Tunel informovat i českou odbornou veřejnost.

**WP5 IMPROVEMENT OF SAFETY LEVEL AND UPGRADING TO EXISTING TUNNELS**

*This work package lies at the core of the entire project. The work group actions consist of gathering the knowledge gained by the work groups 1 to 4, assessing the measures and proposing a combination of suitable measures to maximise safety improvements in existing tunnels. Particular attention will be paid to technical and economic feasibility of the proposed measures. The results of this work will be regularly handed over to the work group no. 6, who will verify the suitability of the measures proposed by the modelling.*

**WP6 EXPERIMENTAL VERIFICATION AND TESTING**

*Experimental verification of theoretical outputs is the specific task of the sixth group. This group will verify results of the work carried out by the first five groups. Nothing shall prevent handing over the results to the last group, group 7, if they are confirmed. The following models are expected to be used for the verification of results:*

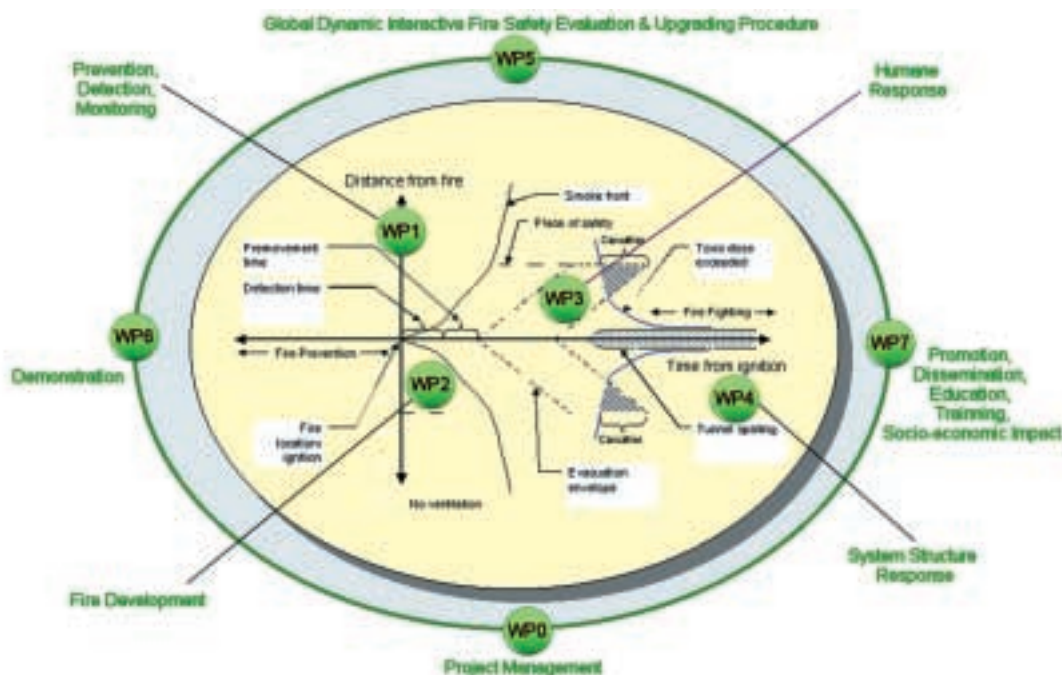
- a model of development of a fire based upon the fire precautions proposed
  - a model of response of structural parts in the course of the developing fire
  - dynamical model of behaviour of passengers
  - social-economic model of consequences of incidents inside tunnels
- The above models will allow a progressive optimisation of the safety measures proposed, with the application of methods of numerical optimisations and expert systems.*

**WP7 AWARENESS PROGRAMS, PROMOTION OF THE ACTIVITY, OTHER EDUCATION AND TRAINING**

*As stressed in the previous paragraph, the results of the activity of this project must be disseminated throughout the public, via appropriate places, i.e. research workplaces, design offices, schools, traffic police units, tunnel equipment operators, governmental bodies and the public in general. This is because, as indicated at the beginning, this project can bring profit to everybody, even those who are not involved in it directly and actively.*

*Fig. 2 shows the activities of individual work groups on a simplified model of a tunnel fire development. The axes x and y represent the time from the outbreak of the fire and the distance from the seat of fire respectively.*

*Initial results of the UPTUN project, the most important project focused on the improvement of fire safety in tunnels in Europe, will be known as early as during 2003. The Czech professional public will be kept informed through Tunel magazine.*



Obr. 2 Model vývoje požáru v tunelu vzhledem k působnosti jednotlivých pracovních skupin

Fig. 2 Model of a tunnel fire development with regard to the fields of action of individual work groups



## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

## WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

## OBTIŽE PŘI RAŽBĚ DRUHÉHO HERZOGBERGSKÉHO TUNELU U ŠTYRSKÉHO HRADCE V RAKOUSKU

Rakouská dálnice A2 je významnou dopravní tepnou pro spojení východní a jižní Evropy. Jihozápadním směrem asi 30 km od Štyrského Hradce dálnice prochází pomocí tunelu Herzogberg v nadmořské výšce asi 1000 m n. m. hřebem Koralpe. První trouba tohoto tunelu byla dokončena v roce 1981. Nárůst dopravy a zvýšené požadavky na bezpečnost vyvolaly nutnost výstavby druhého tunelu délky 1956 m. Jeho stavba byla zahájena v květnu 2001 a razil se metodou NRTM.

**Geologie**

Tunel prochází rulami, slídnatými břidlicemi a amfibolity. Horniny jsou však velmi porušené. Prošly intenzivními tektonickými pochody v třetihorách a byly vystaveny intenzivnímu zvětřování, naposledy v období poslední doby ledové. Z ražby prvního tunelu byly známy dvě velké poruchové zóny – „Modriach“ blízko západního portálu a zvodnělá porucha přibližně 1 km od téhož portálu. Ta způsobila při ražbě první trouby dva závaly s tím, že přítok do díla byl 30 l/sec a poklesl po dvou měsících na 18 l/sec.

Stanovení geotechnických podmínek pro ražbu druhého tunelu zajišťoval investor. Vycházelo se přitom z dokumentace skutečnosti při ražbě prvního tunelu, pouze oblast portálu byla prozkoumána jádrovými vrty a v oblasti poruchových zón, uvedených výše, byla prováděna geofyzikální měření. Hornina v první zóně byla popsána jako značně nesoudržná s tendencí k tvorbě velkých nadvýlomů.

**Plánovaný postup ražeb**

Zadávací dokumentace předpokládala postup ražby od západního portálu. Trhací práce se měly používat ve zdravé hornině, v poruchových zónách měl rozpojování zajišťovat tunelbagr. Kalota o profilu 46 m<sup>2</sup> měla být ražena až do staničení 1,000 km, za ní se mělo razit jádro o ploše 24,5 m<sup>2</sup> až k bezpečnostnímu závalu přibližně ve staničení 0,950 km. Následovala by ražba kaloty až k prorážce u východního portálu a zpětná ražba jádra směrem od východního portálu. Plánovaný postup však nebyl dodržen. Důvodem byly především geotechnické obtíže i změna projektu (zvětšení profilu i počtu spojovacích chodeb – místo 3 byly raženy 4).

**Postup ražeb**

Ražba byla zahájena na západním portále 11. května 2001 a postupovala po záběrech délky 1,7 m. Hlavní obtíže se vyskytly ve staničení přibližně 0,1168 km, 0,4799 km a mezi km 1,047 a 1,080.

**Zával v km 0,1168**

Problémy začaly, když čelba, tvořená zvětralou rozlámanou rulou ležící na amfibolitu, dosáhla vzdálenosti od portálu 116,8 m. V horní části se objevila prosakující voda, která ale netvořila souvislé výrony. Při provádění stříkaného betonu začal opadávat stabilizační nástřík z čelby a začaly se uvolňovat i horninové úlomky. Stabilizační nástřík se několikrát obnovoval, ale postupně se stávalo zřejmým, že stabilita čelby nemůže být udržena a osádka byla stažena. Zával nastal 11. srpna 2001 v 10.00 hod. dopoledne, kdy z přístropí a čelby vypadlo asi 60 m<sup>3</sup> kamenitého materiálu. Poslední příhradový oblouk byl zcela stržen a předposlední byl částečně poškozen. Nadvýlom dosahoval 3 m nad vrchol klenby a v podélném směru měl délku 6 m. Vznik nadvýlomu výrazně ovlivnil systém ploch nespojitosti a smykových ploch, z nichž jedna prudce upadala do čelby ve směru ražby a byla patrně hlavní příčinou závalu.

Bylo rozhodnuto zajistit nadvýlom stříkaným betonem, znovu instalovat zničený příhradový oblouk a postupovat po záběrech snížených z 1,7 m na 1 m. Vypadlý materiál byl částečně odtěžen, zbytek byl použit jako opěrný klín čelby. Každý záběr byl rozdělen s přihlédnutím k aktuálním podmínkám až na 8 dílčích výrubů, které byly ihned zajišťovány stříkaným betonem. Pro zvýšení stability čelby se používal opěrný klín a v každém záběru se instalovaly tři IBO kotvy dl. 12 m. Na délku 5 metrů bylo zesíleno primární ostění na 50 cm při současném vyztužení ocelovými trubkami v horní části kaloty. Současně byly instalovány kotvy Superswellex dl. 4 m a SN kotvy délky 6 m. Pak měl být prostor nadvýlomu vyplněn odlehčeným betonem o objemové hmotnosti 1500 kg/m<sup>3</sup>.

Když osádka nainstalovala příhradový oblouk ve vzdálenosti 120,2 m od portálu a prováděla stříkaný beton ostění, vypadlo znovu 15–20 m<sup>3</sup> materiálu z horní části zabezpečené čelby. Díky rychlé reakci pracovníků nedošlo k žádnému zranění ani škodám na strojích. Zával se zastavil u opěrný klín a následně byl společně s narušenou čelbou stabilizován stříkaným betonem.

Následovalo podepření posledních 7 metrů kulatinou ve vzdálenostech 1 m. Pak se ve dvou krocích zabetonoval nadvýlom. Současně s odstraňováním dřevěné vyztuže byl strop zajišťován 6 m dlouhými kotvami Swellex. V čelbě se provedly IBO kotvy a zainjektovaly se dutiny před ní. Během provádění těchto opatření pokračovala ražba jádra až do vzdálenosti 70 m od portálu.

Po deseti dnech od prvního závalu se pokračovalo s ražbou dalších 8 m kaloty s následujícími opatřeními:

- délka záběru 1 m;
- v každém záběru v přístropí kotvy Superswellex dl. 6 m a na bocích 6 m dlouhé kotvy SN;
- opěrný klín u čelbě;
- až 6 ks IBO v čelbě;
- injektovaný deštník před čelbou;
- rozdělení záběru na dílčí výrubu (podle potřeby).

## COMPLICATIONS DURING EXCAVATION OF THE SECOND HERZOGBERG TUNNEL NEAR GRAZ IN AUSTRIA

Austrian highway A2 is a significant traffic artery connecting east and south of Europe. Approximately 30 km southwest of Graz the highway passes through 1000 m high mountain shoulder by a tunnel. First tube of this tunnel was completed in 1981. Increased traffic intensity and higher requirements on safety evoked the need to construct a second 1956 m long tunnel. Its construction started in May 2001 using the NATM method.

**Geology**

The tunnel passes through gneisses, marlstone shales and amphibolites. However, the rocks are severely faulted. They had gone through intensive tectonic processes in the Tertiary and were exposed to intensive weathering, for the last time during the last ice age. There were two big faulted zones known from the excavation of the first tunnel – „Modriach“ near the western portal and water-bearing weakness zone approximately 1 km away from the same portal. This one caused two cave-ins during excavation of the first tube with water inflows into the structure of about 30 l/sec that were after two months reduced to 18 l/sec.

Determination of geotechnical conditions for excavation of the second tunnel was provided by the investor. It was based on documented reality from excavation of the first tunnel, only the areas around portals were explored by core bores and geophysical measurements carried out in places of the aforementioned faulted zones. Rocks in the first zone were described as very non-cohesive with a tendency for large overbreaks.

**Planned procedure of excavation works**

Design documentation expected the excavation course starting from the western portal. Drill-and-blast technique was to be used in the sound rock; an excavator was supposed to break the rock in the faulted zones. Calotte with cross section of 46 m<sup>2</sup> was to be excavated until 1,000 km chainage, then there was a core with cross section of 24,5 m<sup>2</sup> excavated until the safety niche in about chainage 0,950 km. Excavation of calotte to the point of the breakthrough to the eastern portal and backward excavation of core from the eastern portal should have followed. The planned procedure was not, however, kept. The reason for it lied in geotechnical complications as well as design change (enlargement of cross section and number of connecting corridors – 4 instead of 3).

**Procedure of excavations**

The excavation started at the western portal on May 11, 2001, and proceeded by 1,7 m long rounds. Main complications occurred at chainages 0,1168 km, 0,4799 km and between km 1,047 and 1,080.

**Cave-in at km 0,1168**

Problems began when the face, formed by weathered and fractured gneiss lying on amphibolite, reached the distance of 116,8 m from the portal. Leaking water appeared in the upper section, nevertheless did not form consistent inflows. Stabilizing shotcrete began to fall off the face during spraying and small fragments of rock began to detach as well. The stabilizing shotcrete layer was renewed several times, but slowly it became clear that stability of the face cannot be kept and the mining crew was withdrawn. The cave-in occurred on August 11, 2001, at 10 a.m., when app. 60 m<sup>3</sup> of rock material fell off the ceiling and face. The last lattice girder was destroyed outright and the one before partially damaged. The overbreak reached 3 m above the vault top and was 6 m long in axial direction. The formation of overbreak was significantly affected by the system of discontinuities and slide areas, one of which was sharply dipping to the excavation in the direction of excavation and thus was probably a main cause of the collapse.

It was decided to secure the overbreak by shotcrete, to reinstall the destroyed lattice girder and to further proceed with the round lengths reduced from 1,7 to 1,0 m. Fallen out material was partially removed, the rest was used a wedge supporting the face. With regards to particular conditions, each round was divided in up to 8 partial cuts, which were immediately secured by shotcrete. The supporting wedge was used to increase stability of the face and three 12 m long IBO anchors were installed in each round. Thickness of the primary lining was in 5 m lengths increased to 50 cm with simultaneous support by steel pipes installed in upper section of the top heading. At the same time, 4 m long Superswellex anchors and 6 m long SN anchors were installed. The overbreak space then should have been filled with light-weight concrete with volume weight of 1500 kg/m<sup>3</sup>.

When the crew installed the lattice girder 120,2 m away from the portal and was spraying the lining concrete, again some 15–20 m<sup>3</sup> of material fell off from the upper section of the secured face. Due to prompt reaction of the crew, there were neither injuries nor material damage on machines. The cave-in was stopped by the supporting wedge and was subsequently stabilized by shotcrete along with the faulted face.

Supporting of the last 7 m by roundlogs with 1 m spacing followed. The overbreak was then backfilled with concrete in two phases. Along with removal of the wooden supports, roof was secured by 6 m long rockbolts Swellex. At the face, IBO anchors were realized and cavities in front of it grouted. Excavation of core up to 70 m away from the portal proceeded during realization of the aforementioned measures.

10 days after the first cave-in, another 8 m of the top heading excavation proceeded with the following measures:

- 1 m long round;
- 6 m long Superswellex anchors at the roof and 6 m long SN anchors at sides of each round;
- supporting wedge at the face;
- up to 6 pcs of IBO anchors at the face;
- grouted umbrella in front of the face;
- division of the round excavation into partial cuts (as necessary).

**Zával v km 0,4799**

Další ražba probíhala celkem hladce až do staničení 0,456 km, kdy se objevily znovu potíže. V horní části byla nestejnorodá hornina, bloky horniny byly více nebo méně narušené, výplň spár tvořil jíla.

Záběr se snížil z 1,5 m na 1,3 m, posléze na 1,1 m. Zvýšila se délka kotev v přístropí i na bocích a v každém záběru se použily 3 m dlouhé trubky jako jehly. Ve staničení 0,4799 se na čelbě objevila prakticky svislá smyková plocha poruchové zóny. Současně se na jižním boku kaloty začaly objevovat na posledních 9 metrech radiální trhliny. Ražba byla zastavena a instalovaly se IBO kotvy, při jejichž zavrtávání vytékala voda, takže pro odlehčení vodního tlaku se provedly drenážní vrty. Deformace se podařilo zastavit a pokračovalo se v ražbě, avšak jižní strana kaloty se opět dala do pohybu. Ražba byla ihned zastavena a osádka stažena. Deformace narůstaly až na 230 mm ve vodorovném směru a vertikální až na 330 mm. Rezerva v profilu kaloty byla vyčerpána, takže muselo být přistoupeno k reprofilaci. Postupovalo se v malých záběrech s průběžným zajišťováním výrubu stříkaným betonem a kotvením. Primární ostění bylo zesíleno na 250 mm.

Bez větších potíží se obnovil projektovaný profil znovu skoro do staničení 0,4799. Těsně před dokončením reprofilace začal materiál na boku vypadávat současně s výrony vody. Sanace stříkaným betonem nebyla účinná a situace se rychle zhoršovala. Mechanizmy i osádka byly rychle z čelby staženy. Během několika hodin vypadlo více než 150 m<sup>3</sup> materiálu a primární ostění na posledních 11 m se zhroutilo. Vznikl nadvýlom výšky 7 m nad stropem kaloty, délka nadvýlomu byla 6 m.

Zával byl překonán podobným způsobem jako předcházející, současně se razilo jádro až do staničení 0,350.

**Poruchová zóna mezi km 1,047 a 1,080**

Velká poruchová zóna se očekávala ve staničení 0,970, a proto již v předstihu byly prováděny z čelby průzkumné vrty. Se zhoršováním stavu horniny byl záběr od staničení 1,0366 snížen na 1,0 m. První velký přítok z vrtů se objevil v km 1,0453. V km 1,047 bylo zahájeno kotvení čelby kotvami délky 18 m a současně se prováděl dvojitý deštník z injektovaných kotev IBO délky 9 m. Navíc se na pravé straně ve třech úrovních provedlo 3 x 6 odvodňovacích vrtů délky až 26 m. Přesto se přítok až 20 l/sec nezmenšil. Docházelo k vyplavování porušeného materiálu z pravé strany, a to i v čelbě. Přítok také výrazně komplikoval uzavírání primárního ostění kaloty spodní klenbou. Ražba musela být zastavena a prováděly se průzkumné vrty, které překvapivě ukázaly, že porucha křížuje trasu šikmo a zasahuje profil nejméně dalších 33 m, tj. do km 1,080.

Další ražbu bylo rozhodnuto provádět pod ochranou deštníků z injektovaných mikropilot. Vrtaly se od pravé strany směrem k vrcholu s odstupem mezi trubkami 400 mm. První deštník byl dlouhý 11 m, další dva 12 m, vždy s přesahem 3 m. Menší délka mikropilot umožňovala lepší účinky injektáže pro těsnění masivu. Při následné ražbě byl přítok skutečně výrazně nižší, nebyly žádné problémy se stabilitou boků a s vyplavováním porušené horniny. Čelba byla otvírána po dílčích výrubech, které byly ihned zajišťovány.

Při provádění druhého deštníku byl odpor při vrtání na pravé straně podstatně vyšší, takže vzhledem k lepšímu stavu horniny mohly zde být vzdálenosti mezi mikropilotami zvětšeny. Protože porucha ustupovala vlevo ve směru ražby, bylo možné z třetího deštníku realizovat pouze mikropiloty na levé straně. Během provádění deštníků pokračovala ražba jádra.

**Další postup**

Další ražba kaloty již probíhala bez větších problémů, i když na zbytku trasy tunelu převládaly nepříznivé geotechnické podmínky. Prorážka kaloty se uskutečnila 12. října 2002 se zpožděním asi 4 měsíce. Ražba jádra byla ukončena v lednu 2003. Betonáže definitivního ostění se zahájily v listopadu 2002 a dokončení je plánováno na červen 2003, což by mělo umožnit dokončení tunelové trouby koncem letošního roku. Po jejím uvedení do provozu je v roce 2004 plánováno uzavření a rekonstrukce první, tj. severní tunelové trouby.

Podle zahraničních podkladů zpracoval: Ing. Miloslav Novotný

**Cave in at km 0,4799**

Excavation then proceeded smoothly up to the chainage of 0,456 km, where complications appeared again. There was a heterogeneous rock in the upper section, blocks of rock were more or less broken, and cracks were filled with clay. Round length was reduced from 1,5 m to 1,3 m, later even to 1,1 m. Lengths of the roof and side anchors were augmented and 3 m long pipes were used as spiles in each round. Almost vertical slide area of faulted zone appeared at the face at chainage 0,4799. At the same time, radial fractures began to emerge at southern side of last 9 meters of the calotte. Excavation was put on hold and IBO anchors installed, during whose boring water flowed in. Draining bores had to be realized to reduce the water pressure. Deformations were successfully remedied and excavation resumed, but southern side of the calotte again began to move. Excavation was immediately halted and the mining crew pulled away. Deformations rose up to 230 mm in horizontal direction and 330 mm in vertical. Reserve in cross section of the calotte was exhausted, so a re-profiling has to be performed. It proceeded in small advances with continuous support of the opening by shotcrete and anchoring. Primary lining thickness was increased to 250 mm. Until the chainage 0,4799, the designed cross section was almost fully restored without major complications. Closely before completion of the re-profiling, the material began to fall off the sides along with water inflows. Treatment by shotcrete was ineffective and situation worsened rapidly. Machines as well as personnel were quickly pulled away from the face. More than 150 m<sup>3</sup> of material fell out within few hours and primary lining of the last 11 m collapsed. There was an overbreak 6 m long and reaching 7 m high above the calotte top. The cave-in was surpassed in similar way as the previous one; core was excavated up to chainage 0,350 at the same time.

**Faulted zone between km 1,047 and 1,080**

There was an anticipated large weakness zone at chainage 0,970, and therefore exploration bores had been carried out ahead of the face. Along with deterioration of rock condition, round length was reduced to 1,0 m from the chainage 1,0366. First large water inflow from bores appeared at km 1,0453. At km 1,047, 18 m long anchors were applied at the face and a double umbrella from 9 m long grouted IBO anchors was realized at the same time. Moreover, there were 3 x 6 draining bores with length up to 26 m realized in three levels at the right side.

Nevertheless, the water inflow of 20 l/sec did not alleviate. Faulted material from the right side floated up, at the face as well. The inflow also significantly complicated closing of the primary calotte lining by the invert. Excavation had to be put on hold and exploration bores carried out, which have surprisingly showed that the faulting crosses the alignment askew and penetrated the cross section at least next 33 m, i.e. until the chainage 1,080.

It was decided to carry out the following excavation under the protection of umbrellas from grouted micropiles. They were bored from right side towards the top with spacing between pipes of 400 mm. The first umbrella was 11 m long, next two 12 m, always with a 3 m overlapping. Shorter length of the micropiles enabled higher effects of the sealing grouting. And the subsequent excavation truly experienced significantly lower water inflows; there were no problems with stability of sides or outwashing of fractured rock. The face was opened in partial cuts, which were immediately secured.

Boring resistance at the right side during realization of the second umbrella was much higher, therefore, with regards to better condition of rock, the distances between micropiles could be increased. Because the fracturing moved to the left side of the excavation, only micropiles on the left side were realized from the third umbrella. Excavation of core proceeded during realization of the umbrellas.

**Further procedure**

Further top heading excavation proceeded without major problems, although unfavorable geotechnical conditions prevailed at remaining length of the tunnel. The top heading breakthrough took place with about 4 months delay on October 12, 2002. Excavation of core was completed in January 2003. Concrete placement of the final lining began in November 2002 and the completion is planned on June 2003, which would allow to finish the tunnel tube by the end of this year. When it will have been put into operation in 2004, closing and refurbishment of the first, e.g. northern, tunnel tube will be carried out.

Based on foreign materials elaborated by: Ing. Miloslav Novotný

**ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ****NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES****SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES ITA/AITES AMSTERODAM 2003**

Nizozemské království, respektive jeho hlavní město Amsterdam, hostilo ve dnech 12.-17. dubna 2003 světový tunelářský kongres ITA/AITES. Kongres se konal v kongresovém centru RAI a jeho základní motto bylo „Získávání (znovuzískání) podzemního prostoru“ – „(Re)Claiming the underground space“.

Nizozemští organizátoři zaměřením kongresu vědomě navázali na staleté zkušenosti jejich země s vytvářením nového prostoru pro život lidí z území zatopeného mořem. Mnohdy se jednalo i o znovuzískání ploch, které lidé užívali, ale moře je následně zatopilo a bylo nutno vynaložit mnoho úsilí, aby byly znovu vysušeny a upraveny pro zemědělství nebo jiné účely.

V urbanizovaných oblastech je dnes obecně ploch na povrchu území nedostatek. Tunelářské technologie nabízejí stále efektivnější možnosti využívání prostoru pod povrchem. Přesto situace není uspokojivá. Chybí lepší systematická při plánování využití podzemí, lepší znalosti o podzemí (geotechnické parametry, existující zařízení a objekty), lepší využití sociálně-ekonomických přínosů využití podzemí při rozhodování o nové výstavbě i další zlepšování v oblasti smluvní. S tím samozřejmě souvisí i stále technické i ekonomické zlepšování tunelářských technologií.

**THE WORLD TUNNELING CONGRESS ITA/AITES AMSTERDAM 2003**

The Kingdom of Netherlands, its capital Amsterdam respectively, hosted the world tunneling congress ITA/AITES during April 12-17, 2003. The congress took place in the congress center RAI and its basic motto was „(Re) Claiming the underground space“.

Dutch organizers have with focus of the congress knowingly linked of the several hundred years of experience of their country with creation of new living space for areas below the sea level. Often it also concerned reclaiming of areas, which had been used by people before the sea subsequently flooded them, and a lot of strength had to be invested in their repeated drainage and adjustment for agricultural or other purposes.

Within urbanized regions, there is generally a lack of surface areas. Tunneling technologies are offering always more effective capabilities to use the subsurface space. Nonetheless, the situation is not satisfactory. There is a lack of better systematic planning of use of the underground, better knowledge about the underground (geotechnical parameters, existing installations and structures), better use of the socioeconomic contributions of use of the underground in the decision-making process of new constructions as well as further improvement in the contractual area. Of course, further technical and economic improvement of tunneling technologies is connected to it as well.



Jednání konference probíhalo po jednotlivých sekcích, což umožňuje účastníkovi vybrat přednášky, které ho nejvíce zajímají, současně to ale průběh konference poněkud atomizuje. Najít lepší model nebo vyvážený kompromis, který by znamenal omezení počtu prezentovaných příspěvků (a tím možná i účastníků), se zatím nedaří.

*Session of the conference proceeded within individual committees, which allows the participant to choose lectures that he is most interested in, but it also fragments the conference at the same time. It has not yet been achieved to find a better model or a balanced compromise, which would result in reduction of amount of the delivered contributions (thus also amount of participants).*

Členské státy zastoupené na Valném shromáždění ITA/AITES / *Member nations represented:*

**South Africa, Germany, Saudi Arabia, Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Canada, China, Colombia, Korea, Croatia, Denmark, Egypt, Spain, United States of America, Finland, France, Greece, Hungary, India, Italy, Japan, Morocco, Norway, New Zealand, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, United Kingdom, Russia, Singapore, Slovakia, Slovenia, Sweden, Switzerland, Czech Republic, Thailand, Turkey.**

Nepřítomné členské státy / *Member nations not represented:*

**Algeria, Argentina, Chile, Iran, Iceland, Israel, Lesotho, Malaysia, Mexico, Ukrania, Venezuela.**

Nové složení Výkonného výboru ITA/AITES / *New Executive Council:*

Členové / <i>Members</i>	Členský stát / <i>Member nation</i>	Funkce / <i>Office</i>	Do / <i>Until</i>
A. Assis	Brazil	President	2004
A. M. Muir Wood	United Kingdom	Honorary President	
A. Haack	Germany	Past President	2004
H. Parker	USA	Vice President	2004
H. Oud	Netherlands	Vice President	2004
J.-P. Godard	France	Past Vice President	2004
J. Hess	Czech Republic	Past Vice President	2004
A. Nordmark	Sweden		2004
K. Ono	Japan		2004
H. Wagner	Austria		2005
J. Zhao	Singapore		2004
Y. Erdem	Turkey		2005
M. Knights	United Kingdom		2006
F. Vuilleumier	Switzerland	Pokladník / <i>Treasurer</i>	2004
C. Berenguier		Generální sekretář / <i>Secretary General</i>	2005
Expert			
S. Calinescu	Roumania	Internal Auditor	2004

Členství / *Membership*

Asociace zaregistrovala členství 45 nových přidružených členů (25 organizací a 20 jednotlivců). Celkový současný stav po započtení nových i resignujících členů je 52 členských zemí a 276 přidružených členů (113 organizací a 163 jednotlivců).

*The Association has registered the membership of 45 new Affiliate Members (25 Corporate Members and 20 Individual Members); the total results to 52 Member Nations and 276 Affiliate Members (113 Corporate Members and 163 Individual Members) taking into account radiations and resignations.*

Česká i slovenská účast na konferenci byla výrazná. Do dvoudílného sborníku příspěvků byly zařazeny tři příspěvky z České republiky:

- Hasík, Růžička, Bucek, Zelenka: Prague metro one nave station
- Autoři v příspěvku popsali technické řešení, složité geotechnické podmínky a postup ražeb první jednolodní stanice realizované na trase IVC1 pražského metra v Praze – Kobylisích.
- Vítek: Metro tunnels under the Vltava river
- V příspěvku byly zhodnoceny průběh a získané zkušenosti z přípravy a realizace tunelů pražského metra podcházejících řeku Vltavu mezi Holešovicemi a Trojou. Jejich stavba byla provedena unikátní technologií vysouvání železobetonových tubusů pod hladinou řeky ze suchého doku (jímky), kde byly vybetonovány, směrem k holešovickému břehu.
- Bucek, Heřt, Smida: Tunneling in an undermined area
- Předmětem příspěvku byla realizace železničního tunelu Březno v severních Čechách nedaleko od Chomutova. Použila se předepsaná technologie ražby metodou obvodového vrubu, která byla konfrontována s nepředpokládaným rozsahem starých důlních děl.

Organizátoři zařadili všechny tři mezi příspěvky určené k prezentaci. Příspěvky o jednolodní stanici Kobylisy a tunelu Březno přednesl Prof. Bucek a realizaci tunelů metra v Praze-Trojji prezentoval doc. Vítek. Prezentace byly úspěšné, především pak mimořádnou pozornost vyvolala technologie vysouvání tunelů pod hladinou řeky Vltavy. Znovu se prokázalo, že tato stavba byla skutečně unikátní technickým řešením i podmínkami, ve kterých byla realizována. To těší i s ohledem na to, že většina posluchačů byla ze země, která má obrovskou tradici v naplavovaných a potápěných tunelech i jiných, často mimořádných, inženýrských objektech umístovaných pod hladinou řek i moře. Připomeňme pouze, že v Praze se provedlo vysunutí dvou železobetonových tubusů délky cca 160 m zakřivených horizontálně i vertikálně a jejich definitivní usazení v předem připraveném zářezu pod dnem řeky. V průběhu konference se, jak je obvyklé, konalo valné shromáždění ITA/AITES i jednání exekutivy a pracovních skupin.

Stručnou zprávu o činnosti pracovních skupin s uvedením českých zástupců obsahuje přehled na následující straně.

*There was a significant Czech as well as Slovakian attendance at the conference. Three contributions from the Czech republic have been filed into the two-volume proceedings:*

- Hasík, Růžička, Bucek, Zelenka: Prague metro one-vault station
- Authors in the contribution described the technical solution, complicated geotechnical conditions and procedure of construction of the first single-bay station realized on the metro track IVC1 in Prague – Kobylisy.
- Vítek: Metro tunnels under the Vltava river
- This contribution evaluated the course and gained experience from preparation and realization of the Prague metro tunnels underpassing the Vltava river between Holešovice a Troja. Their construction was carried out using a unique technique of launching the reinforced concrete tubes below the riverbed towards the bank of Holešovice from a dry dock (cofferdams), where the tubes had been concreted.
- Bucek, Heřt, Smida: Tunneling in an undermined area
- Realization of the tunnel Březno in northern Bohemia near Chomutov was the subject of this contribution. A recommended technology of peripheral pre-cut was used, which was confronted with unexpected occurrence of old mining structures.

*The organizers classified all three contributions among those suitable for presentation. Contributions on the single-bay station Kobylisy and tunnel Březno was delivered by Prof. Bucek, and realization of the metro tunnels in Prague- Troja by Ing. Vítek. Presentations were successful; especially the technique of launching tunnel tubes below the riverbed drew extraordinary attention. Again it was proved that this construction was absolutely unique, both by the technical solution and conditions in which it was realized. That is delightful also with regards to the fact, that majority of the audience came from a country, which has a vast experience with floated and immersed tunnels as well as other, often extraordinary engineering works located below river or seabed. Let us only remind, that Prague saw a successful launching of two app. 160 m long tubes of reinforced concrete, horizontally and vertically curved, and their subsequent final laying into pre-excavated trench below the riverbed.*

*Session of General assembly of the ITA/AITES as well as sessions of the executive board and workgroups took place during the course of the conference as usual. The overview on the following page contains a brief report on activities of the workgroups along with names of Czech representatives.*

Číslo PS	Název PS	Český delegát	Činnost PS
02	Výzkum (Research)	Doc. Ing. Pavel Přibyl, CSC. ELTODO, a.s. Dr. Ing. Alexandr Rozsypal SG – Geotechnika	Byla dokončena finální verze <b>Směrnice pro hodnocení rizik při tunelování</b> (Guideline for Tunneling Risk Management) - úpravy na základě připomínek výkonného výboru ITA/AITES. Dále byly provedeny poslední úpravy dokumentu <b>Sedání vyvolané tunelováním</b> (Settlement Induced by Tunneling) - výsledné znění bude v létě předáno výkonnému výboru k posouzení. Skupina se zaměří na problematiku průzkumů nutných pro výběr stavení a to pro fázi od prvotních činností až po zahájení výstavby.
03	Smluvní praktiky (Contractual Practices In Underground Construction)	Ing. Jaromír Zlámal POHL cz, a. s.	Proběhla diskuse o současných právních sociálních, finančních aspektech a aspektech životního prostředí ovlivňujících tunelářský průmysl a to z pohledu jednotlivých zemí. Bylo konstatováno potřeba nalézt nezávislé experty pro formulování přijatelného kompromisu pro tunelové stavby. Návrh procedur pro vytipování těchto expertů je úkolem této pracovní skupiny. Původních 25 principů pro zmírnění rizik pro tunelové akce (materiál ITA z devadesátých let) bude skupinou aktualizováno.
05	Bezpečnost a zdraví (Health and Safety in Works)	Není zástupce	Není zástupce. Probíhá revize stávajícího materiálu <b>Bezpečnost při tunelování</b> (Tunneling Safety Guidelines). Připravuje se finální znění Směrnice pro tunelování pro odsouhlasení na příštím zasedání v Singapuru (2004). Skupina shromažďuje údaje pro databázi legislativy v oblasti zdraví a bezpečnosti. Dále se skupina zabývá problematikou ochrany proti ohni na zařízeních a pracovištích v tunelech.
06	Údržba a opravy tunelů (Maintenance and Repair of Tunnels)	Ing. Petr Vozárik Metrostav, a. s.	Za účasti pracovníků PIARC probíhala diskuse o směrnících specifikujících požadavky na požární odolnost konstrukcí silničních tunelů s cílem revidovat tyto směrnice (Guidelines for Structural Fire Resistance for Road Tunnels).
11	Ponořované a naplavované tunely (Immersed and Floating Tunnels)	Doc. Ing. Jan Vitek, CSC.	Jednání navazovalo na příspěvky, které byly předneseny v Seattlu na prvním americkém semináři. Bylo rozhodnuto aktualizovat dříve zpracovaný materiál o této technologii, rozšířit ho a vydat ve formě vhodné pro internetové použití. Skupina se bude v dalším období věnovat problematice sedání u tohoto druhu tunelů.
12	Užití stříkaného betonu (Shotcrete Use)	Ing. Pavel Polák Metrostav, a. s.	Jsou rozpracovány 3 úkoly: Úkol č. 1 - současný stav oboru; informace zaslalo 21 zemí, do 09/2003 bude provedena sumarizace těchto materiálů a práce bude předložena výkonnému výboru ITA k závěrečnému odsouhlasení Úkol č. 2 - protipožární stříkané malty (fire-protective sprayable mortars); seznam bude dokončen v termínu jako úkol č. 1 Úkol č. 3 - mechanismy pro stříkaný beton; rovněž zde bude provedena sumarizace v termínu jako u úkolu č. 1 Nové úkoly - kompilace informací o současném systému zácviku obsluh zařízení a o oficiálních certifikacích trysek; sumarizace příspěvků na téma vyztužovací žebra - přehled syntetických vyztužovacích prvků (fibrů) do betonu - referenční listy o tunelech provedených technologií stříkaného betonu.
14	Mechanizace razících prací (Mechanization of Excavation)	Ing. Jiří Mosler Metrostav, a.s. Ing. Vladimír Zeman Metrostav, a.s.	Byl dokončen materiál „Klasifikace a definice mechanizovaných štítů“ vč. sborníku doporučených hesel - materiál bude prezentován na webových stránkách ITA/AITES Dále bylo dohodnuto zpracovat zásady a data pro užití různých druhů štítů (pro skalní horniny, zemní a bentonitové štíty). První závěry mají být prezentovány v Singapuru r. 2004. Dále se připravuje sběr údajů ze staveb, kde byly použity mechanizované štíty s cílem specifikovat základní podmínky pro použití této technologie tunelování - geologický průzkum, návrh plánu realizace, preventivní měření a měření na stavbě.
15	Podzemí a životní prostředí (Underground and Environment)	Doc. Ing. Richard Šnupárek, CSC Ústav geoniky AV ČR	Připravuje se prezentace zprávy „Proč jít do podzemí - důvody z hlediska ochrany životního prostředí a udržitelného rozvoje“. Zpráva bude vycházet z příspěvků 19 zemí, které dodaly 100 projektů na toto téma.
16	Kvalita (Quality)	Ing. Jiří Bělohav Metrostav, a. s.	WG dokončila materiál zabývající se technickými rysy a postupy pro hodnocení kvality tunelářských prací. Konečný materiál obsahuje souhrnou zprávu a tabulkovou část vč. postupového diagramu činnosti. Materiál bude prezentován na web. stránkách ITA/AITES.
17	Dlouhé tunely ve velkých hloubkách (Long Tunnels in Great Depth)	Není zástupce	Byla provedena sumarizace příspěvků členů WG - charakteristiky jednotlivých tunelů (jak silničních, tak i železničních) z hlediska extrémních podmínek provádění, které komplikují stanovení a zhodnocení rizik a to v období přípravy, provádění a provozu. Byla definována základní metodologie ohodnocování těchto rizik - většina směrnice se vztahuje k fázi plánování a projektování, průzkumům, zabývají se bezpečností práce, požadavky na ochranu životního prostředí během výstavby i provozu. Materiál má být dokončen v tomto roce.
18	Výcvik (Training)	Dr. Ing. Jan Pruška Stavební fakulta ČVUT Doc. Ing. Karel Vojtasik, CSC. Vysoká škola báňská	Bylo dohodnuto připravit seznam vysokých škol zabývajících se problematikou tunelových staveb. Dále se skupina zaměří na: - vypracovat doporučující seznam kateder - připravit základní školící a didaktický materiál a zajistit jeho publikaci na webových stránkách ITA/AITES - připravit standardy, které budou předány ostatním WG, aby zasílaly didaktické materiály, které jsou k dispozici v jejich zemích

WG No.	WG name	Czech Delegate	WG Activity
02	Research	Doc. Ing. Pavel Přibyl, CSC. ELTODO, a.s. Dr. Ing. Alexandr Rozsypal SG – Geotechnika	Final version of the Guideline for Tunneling Risk Management was proposed – modifications based on comments of the ITA/AITES executive board. Final modifications of the document Settlement Induced by Tunneling were further proposed – final draft will be submitted to the executive board for evaluation in summer. The workgroup will focus on the issues of explorations necessary for selection of construction sites for phases of initial activities till the start of construction work.
03	Contractual Practices In Underground Construction	Ing. Jaromír Zlámal POHL cz, a. s.	A discussion proceeded on the existing legal, social financial as well as environmental aspects having impact on the tunneling industry from the viewpoint of individual countries. The need to find independent experts for formulating an acceptable compromise for tunnel structures was stressed.
05	Health and Safety in Works	No representative	Revision process of the existing Tunneling Safety Guidelines advances. Final draft of the Tunneling guidelines is being prepared for adoption at the upcoming session in Singapore (2004). The workgroup gathers data for a legal database in the field of health and safety. The workgroup further deals with the issues of fire protection of equipment and workplaces in tunnels.
06	Maintenance and Repair of Tunnels	Ing. Petr Vozárik Metrostav, a. s.	Discussion about the Guidelines for Structural Fire Resistance for Road Tunnels proceeded by presence of the PIARC employees with a purpose to revise these.
11	Immersed and Floating Tunnels	Doc. Ing. Jan Vitek, CSC.	Session linked on the contributions delivered at the first American seminar in Seattle. It was decided to update the previously elaborated materials on this technology, to extend it and publish it in such way as convenient for the internet use. The workgroup will discuss the issues of settlement in these types of tunnels in future.
12	Shotcrete Use	Ing. Pavel Polák Metrostav, a. s.	There are 3 started tasks: Task no. 1 – current situation in the field; 21 countries submitted information, summarization of these materials will be elaborated till 09/2003 and final draft submitted to the ITA/AITES executive board for final approval. Task no 2 – fire-protective sprayable mortars; inventory will be completed in the same time period as task no. 1 Task no. 3 – shotcrete mechanisms; also here a summarization will be elaborated in the same time period as task no. 1 New Tasks – collection of data about the existing system of personnel training and official certifications of jets; summarization of contributions on the topic of support ribs - overview of synthetic concrete reinforcing elements (fibers) - references about tunnels realized by shotcreting
14	Mechanization of Excavation	Ing. Jiří Mosler Metrostav, a.s. Ing. Vladimír Zeman Metrostav, a.s.	The material “Classification and definition of mechanized shields” was completed including the index of recommended titles – material will be published on the ITA/AITES web pages. It was further decided to elaborate the principles and data for use of various types of shields (for hard rock, ground and bentonite shields). First conclusions should be presented in Singapore 2004. Collection of data is being prepared from projects where mechanized shields were used, with a purpose of specification of fundamental conditions for the use of this tunneling technology – geological exploration, proposal on realization programme, preventive measurement and on-site measurement.
15	Underground and Environment	Doc. Ing. Richard Šnupárek, CSC. Institute of Geonics by AV ČR	Presentation of the report “Why go underground – reasons from the viewpoint of environmental protection and sustainable development” is being prepared. The report will be based on contributions from 19 countries, which had submitted 100 projects on this topic.
16	Quality	Ing. Jiří Bělohav Metrostav, a. s.	The WG completed a material dealing with technical features and procedures for evaluation of the quality of tunneling works. Final draft includes a summary report and table annex including a diagram of sequence of activities. Material will be presented on the ITA/AITES web pages.
17	Long Tunnels in Great Depths	No representative	Summarization of contributions from the WG members was elaborated – characteristics of individual tunnels (road and railway ones) from the viewpoint of extreme conditions for realization, which distort the determination and assessment of risks during preparation works, realization and operation as well. A basic methodology for assessment of these risks was defined – most guidelines are related to the phases of planning and designing, explorations, they deal with the safety of work, and requirements on environmental protection during construction and operation. The material should be completed this year.
18	Training	Dr. Ing. Jan Pruška Faculty of Engineering ČVUT Doc. Ing. Karel Vojtasik, CSC. The Mining College	It was decided to set up an index of universities active in the field of tunnel structures. The group will further focus on the tasks: - to elaborate a recommending index of university departments - to prepare a basic educational and didactic material and ensure its publication on the ITA/AITES web pages. - to prepare standards to be submitted to the other WGs for them to submit didactic materials available in their respective countries.



Číslo PS	Název PS	Český delegát	Činnost PS
19	<b>Klasické tunelovací technologie</b> (Conventional Tunnelling)	Ing. Otakar Hasík METROPROJEKT Praha a.s. Ing. Václav Soukup Metrostav, a.s.	Byla připravena dotazníková akce pro členy WG, ve které jsou požadovány základní informace o prováděných tunelech klasickou technologií. Součástí příspěvků má být i shrnutí smluvních praktik. Materiály mají být zaslány do 4 měsíců.
20	<b>Urbanistické problémy – řešení podzemím</b> (Urban Problems, Underground Solution)	Ing. Václav Valeš METROPROJEKT Praha a.s.	Proběhlo první zasedání skupiny, která byla ustavena v r. 2002 v Sydney. Byly rozeslány dotazníky s požadavkem na specifikaci urbanistických problémů, které je vhodné nebo byly řešeny podzemními stavbami.

WG No.	WG name	Czech Delegate	WG Activity
19	<b>Conventional Tunneling</b>	Ing. Otakar Hasík METROPROJEKT Praha a.s. Ing. Václav Soukup Metrostav, a.s.	A survey was prepared for the WG members, which asked for basic information on tunnels realized by the conventional technology. A summarization of contractual practices should be part of the contributions. Materials are to be sent in within 4 months.
20	<b>Urban Problems, Underground Solution</b>	Ing. Václav Valeš METROPROJEKT Praha a.s.	First session of the workgroup established in Sydney 2002 took place. Surveys with a request for specification of urban problems, that can be solved or have been solved by underground structures, were sent out.

Ing. Miloslav Novotný, Ing. Václav Valeš, Ing. Karel Matzner

## ROADWARE 2003

V pořadí již devátý Mezinárodní silniční veletrh Roadware 2003 se konal v Praze v Průmyslovém paláci na Výstavišti ve dnech 20.–22. 5. 2003. Tradičně pořadatelem byla Česká silniční společnost, když vlastní akci zajišťovala agentura Viaco.

Letošního ročníku se zúčastnilo 96 firem, s jejichž nabídkou se bylo možno seznámit v 78 expozicích a v katalogu vystavovatelů.

V katalogu jsou rozříděny firmy do 30 kategorií. Geotechnika, Zakládání staveb a Podzemní stavby jsou uvedeny v číselníku 23–25 a prezentuje se v nich cca 16 firem. Z členů našeho ČTUK jsou to Metrostav, a. s., Doprastav, a. s., SMP Construction, a. s., ŽS Brno, a. s.

Po dokončení strukturálních i personálních změn v silničním hospodářství se do katalogu zařadil adresář správců pozemních komunikací zahrnující také kraje, statutární a pověřená města.

V úvodním představení České silniční společnosti se vedle historického přehledu vzniku a činnosti prezentují také nynější práce a aktivity. Zde by bylo také nutno vyzvednout práci odborných sekcí, z nichž významně pracuje sekce Silniční tunely.

ČSS usiluje o zaměření sekcí tak, aby odpovídaly co nejvíce nové struktuře mezinárodní AIPCR/PIARC a jejím výborům.

Dále se připomíná pořádání pravidelných významných odborných akcí, jako jsou v květnu v Praze Roadware a celostátní silniční konference tentokrát 7. a 8. října v Plzni. Ze seminářů nutno vyzvednout geotechnický k novým normám, dále k problémům mechanizace údržby nebo zářijový k otázkám majetkoprávním přípravy. Jednou za dva roky se koná také mezinárodní konference „Asfaltové vozovky“. Ve světové silniční asociaci (AIPCR/PIARC) má ČSS zastoupení v 15 technických výborech. Pro využívání informací a poznatků byly při ČSS ustanoveny národní komitety, v nichž jsou soustředěni odborníci a podnikatelské subjekty České republiky. Hlavním místem pro publikace vědy a praxe v oboru je časopis Silniční obzor. Lze jen s potěšením konstatovat, že vzájemná spolupráce mezi časopisem a našim časopisem Tunel se úspěšně, vlivem pracovníků tunelové sekce ČSS, rozvíjí.

## ROADWARE 2003

Already the ninth international fair Roadware 2003 took place in Prague in the Industrial Palace at Výstaviště during May 20-22, 2003. It was as traditionally organized by the Czech Road Society while the proceedings were ensured by the Viaco agency.

96 companies took part this year, which presented their services in 78 exhibitions and an exhibition catalogue.

The companies are divided into 3 categories in the catalogue. Geotechnics, Founding of construction and Underground works are introduced by numbers 23 through 25 are there are 16 companies presenting themselves; from our ITA/AITES committee these are Metrostav a.s., Doprastav a.s., SMP Construction a.s., Ž.S. Brno a.s.

Following the completion of structural as well as personal changes in road-related economy, also the directory of road administrators including regions, statutory and delegated cities appeared in the catalogue.

The initial introduction of the Czech Road Society mentions not only the historical overview, but also presents current works and activities. Here it would be convenient also to praise the work of expert sections, from which the section Road tunnels contributes remarkably.

The CRS pursues specialization of sections that would as much as possible correspond to the new structure of the international AIPCR/PIARC and its committees.

Furthermore, it mentions the planning of regular significant specialized events such as Roadware in Prague in May and the national road conference, this time in Pilsen during October 7-8. As far as seminars are concerned, it is necessary to mention the geotechnical ones concerning the new standards, issues of mechanized maintenance and property rights preparation in September. There is also an international conference "Asphalt roads" held every two years. Within the world road association AIPCR/PIARC, the CRS is represented in 15 technical committees. In order to gain access to information and knowledge, national committees have been set up under the CRS, which bring together professionals and business subjects from the Czech republic. The Road Review magazine is the main center for publications from science and practice in the given field. It can be stated with delight, that mutual cooperation between this magazine and our magazine Tunel successfully evolves especially due to employees of the CSR tunnel section.

Ing. Petr Vozarik



Obr. 1 Zahájení veletrhu Roadware za účasti ministra dopravy Ing. Šimonovského  
Fig. 1 Opening of the Roadware fair with participation of the Minister of Transport Ing. Šimonovský

**PRAŽSKÉ GEOTECHNICKÉ DNY 2003**

Jako každoročně měli odborníci z oboru geotechniky příležitost setkat se v květnu na Pražských geotechnických dnech. Organizátorem byla tradičně Stavební geologie – Geotechnika, a. s. ve spolupráci s Českou geotechnickou společností a Českým výborem pro mechaniku zemin a zakládání staveb.

Seminář se věnoval různým případům zahrnujícím problematiku vlivu extrémních podmínek na geotechnické konstrukce. Součástí semináře byl i workshop, jehož tématem tentokrát byla „Role geotechniky ve strategii protipovodňové ochrany území a městských sídel“.

První den odpoledne byla přednesena v pořadí již jedenáctá Pražská geotechnická přednáška. Její téma: „Geotechnical Problems at the Great Belt Crossing“ bylo inspirující i pro odborníky z oboru podzemních staveb (délka železničního tunelu cca 8 km). Přednášejícím byl Prof. Niels Krebs Ovesen.

Již po druhé byla na semináři vyhlášena cena Akademika Záruby pro mladé geotechniky do věku 35 let.

V dopoledním odborném semináři, který předcházela Pražskou geotechnickou přednáškou, byly předneseny následující referáty:

- Stabilitní řešení extrémně vysoké skládky odpadů umístěné v bývalém kamenolomu
  - Geotechnická problematika jednolodní stanice metra Kobylisy
  - Geotechnické problémy protipovodňových hrází
  - Hloubení mělkého tunelu v Marseille
  - Založení větrné elektrárny na uhelné výspě s využitím hloubkového zhuťování
- Pro čtenáře časopisu Tunel byly zajímavé především příspěvky týkající se tunelových staveb v zahraničí.

**Hloubení mělkého tunelu v Marseille**

(Jean-Michel Rescoussier, Francie, EEG SIMECSOL-ARCADIS)

Autor se zabýval návrhem a realizací tunelu podcházejícím v hloubce pouze několika metrů pod radnicí v Marseille. Důraz byl v přednášce položen na použití MKP při výpočtu tunelu a na technologický postup výstavby se zaměřením na budování mikropilotového deštníku a na řešení změny výšky výztužných ocelových nosníků s využitím hydraulických zvedáků.

**PRAŽSKÁ GEOTECHNICKÁ PŘEDNÁŠKA****Geotechnical Problems at the Great Belt Crossing**

(Prof. Niels Krebs Ovesen, Dánský geotechnický institut, Dánsko)

Profesor Ovesen vybral pro 11. Pražskou geotechnickou přednášku téma vystihující geotechnické problémy, které je zapotřebí řešit při tak rozsáhlých projektech, jako byla výstavba 18 km dlouhého železničního a silničního propojení Dánska a Švédska.

Součástí celého projektu je také východní (železniční) tunel délky cca 8 km, který je ve skutečnosti tvořen dvěma tunelovými troubami ve vzdálenosti 125 m, propojovanými příčnými chodbami po 250 m. V této části přednášky se profesor Ovesen kromě jiného zabýval posuzováním rizika výskytu balvanů omezujících

**PRAGUE GEOTECHNICAL DAYS 2003**

As every year in May, professionals from the field of geotechnics had an opportunity to meet at the Prague Geotechnical Days. It was as traditionally organized by Stavební geologie - Geotechnika a.s. in cooperation with the Czech Geotechnical Society and the Czech Committee for soil mechanics and founding of structures.

The seminar was dedicated to different cases covering the issues of impact of extreme conditions on geotechnical structures. A workshop called "Role of geotechnics in strategy of anti-flood protection of urban areas and residences" was part of the seminar.

The already 11<sup>th</sup> consecutive Prague geotechnical lecture was delivered in the afternoon on the first day. Its topic: "Geotechnical Problems at the Great Belt Crossing" was very inspiring even for those professionals from the field of underground works (railway tunnel length of app. 8km). Prof. Niels Krebs Ovesen was the lecturer.

For the second time, Academician Záruba's award for young geotechnicians up to 35 years was given out at the seminar.

During the specialized morning seminar, which preceded the Prague geotechnical lecture, the following speeches were delivered:

- Stability solution of an extremely high waste disposal, located in a former quarry
  - Geotechnical issues of the single-bay subway station Kobylisy
  - Geotechnical issues of the anti-flood embankments
  - Shallow cut-and-cover tunnel in Marseille
  - Founding of a wind power plant on a coal landfill with use of deep compaction
- Mostly the contributions concerning foreign tunnel structures were interesting for readers of the Tunel magazine.

**Shallow cut-and-cover tunnel in Marseille**

(Jean-Michel Rescoussier, France, EEG SIMECSOL-ARCADIS)

The author dealt with a design and realization of the tunnel underpassing the city hall of Marseille at a depth of only several meters. The lecture emphasized the use of the FEM during tunnel calculation and the technological procedure with focus on the construction of micropile umbrella and solution of changing the elevation support frames using hydraulic jacks.

**PRAGUE GEOTECHNICAL LECTURE****Geotechnical Problems at the Great Belt Crossing**

(Prof. Niels Krebs Ovesen, Danish Geotechnical Institute, Denmark)

Professor Ovesen selected a topic for the 11<sup>th</sup> Prague geotechnical lecture, which conveniently formulates the geotechnical problems that are to be dealt with during large projects such as the construction of the 18 km long railway and road connection of Denmark and Sweden.



Obr. 1 Řešení startovací jámy při budování ochranného mikropilotového deštníku  
Fig. 1 Solution of the starting pit during construction of the protective micropile umbrella

Obr. 2 Jeden ze čtyř razicích štítů o průměru 7,7 m  
Fig. 2 One of the four driving shields with diameter of 7,7 m

Obr. 3 Letecký pohled na dokončené propojení Dánska a Švédska  
Fig. 3 Aerial view of the completed connection between Denmark and Sweden

The entire project also includes 8 km long eastern (railway) tunnel, which in fact consists of two tunnel tubes at a distance of 125 m, connected by cross passages every 250 m. In this part of the lecture professor Ovesen beside other dealt with the assessment of risks of boulder occurrence, limiting the performance of driving shields (there were four of them deployed, all with diameter of 7,7 m). He also in detail described the method of solving the accident, when the tunnel under construction was flooded (combination of intensive water pumping and sealing of the seabed). He also mentioned the situation following a fire, which prevented one of driving shields from further use.



výkon razících štítů (nasazeny byly čtyři, všechny o průměru 7,7 m). Podrobně rozebral i způsob řešení havárie, při níž byl rozestavěný tunel zaplaven (kombinace intenzivního čerpání vody a těsnění mořského dna). Zmínil i situaci na stavbě po požáru, který znemožnil další využití jednoho z razících štítů. Výše uvedené skutečnosti vedly k tomu, že tunel byl dokončen s ročním zpožděním a finanční náklady na něj vzrostly téměř na dvojnásobek. O úspěšnosti celého projektu svědčí fakt, že počet přepravených vozidel je dvojnásobný ve srovnání s minulostí, kdy bylo možno využít pouze trajekt.

Záznamy přednášek na CD jsou pro zájemce k dispozici v SG Geotechnika

A. Rozsypal

### VÝMENA SKÚSENOSTÍ NA VÁHOSTAVE – TUNELY A ŠPECIÁLNE ZAKLADANIA, a. s., BRATISLAVA

K udržaniu vysokej odbornej úrovne je nevyhnutná schopnosť využiť každú príležitosť k poučeniu, a to aj zo skúseností iných. Pre Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a. s., bola takouto príležitosťou účasť skupiny vedúcich pracovníkov - Ing. Schnierer, Ing. Sibert a Ing. Cúth - na Svetovom tunelárskom kongrese v Amsterdame v dňoch 12.-17. apríla 2003.

Účastníci zahraničnej cesty si získané poznatky nechali pre seba a prezentovali ich na rozšírenej porade technických pracovníkov spoločnosti dňa 28. apríla 2003. Okrem informácií o vystúpeniach na pôde kongresového paláca, ktoré sú zdokumentované v zborníku, podrobne popisali svoje zážitky z exkurzie na práve dokončenú stavbu tunela Westerschelde. Účelom tejto investície, ktorá sa má vrátiť za 30 rokov, bolo vytvorenie jedného z posledných chýbajúcich cestných prepojení v ostrovej provincii Zeeland a to medzi Flámskom a centrálnym Bevelandom a tým aj s ostatnými oblasťami Holandska. Westerscheldetunnel vytvoril permanentnú a nezávislú náhradu za trajektovú službu, ktorá spôsobovala značné prestoje čakaním počas hustej letnej premávky a nemožnosťou prevádzky v noci a v nepriaznivom počasí. Pri dobe prepravy cca 30 minút trajektová služba prepravila 5 plavidlami v priemere 7,5 tisíc automobilov denne s výhľadom ročného prírastku okolo 2 %. Denná kapacita tunela je 27 tisíc vozidiel.

S priebehom výstavby, vrátane riešenia 4 mimoriadnych situácií, vo svojej prednáške oboznámil účastníkov exkurzie výkonný riaditeľ realizujúcej organizácie NV Westerscheldetunnel, Wim van de Linde. Westerscheldetunnel je unikátne dielo. Je to najdlhší tunel západnej Európy, vyrazený v mäkkej hornine. Preto bolo potrebné rozsiahle využívanie skúseností iných krajín, najmä Japonska. Aj preto je táto stavba predmetom veľkého záujmu odbornej verejnosti nielen holandskej, ale aj zahraničnej. Dĺžka tunela je 6,6 km, hrubý priemer 11,3 m, maximálny sklon 4,5 %, doba výstavby vrátane projekcie 80 mesiacov a celkové náklady 726 miliónov EUR (bez DPH). Tunel pozostáva z dvoch jednosmerných tunelových rúr kruhového prierezu, v ktorých sú po dva jazdné pruhy šírky 3,5 m. Medzi tunelovými rúrami je 12 m pôvodnej horniny. Rúry sú každých 250 m vzájomne prepojené bezpečnostnou prerážkou.

Tunelové rúry sa razili predvážne v ílovitej hornine a z časti vo zvodných pieskoch dvomi bentonitovými štítmí, vybavenými plnoprofilovými reznými hlavami. Obidva raziace stroje nemeckej výroby, konštruované špeciálne pre túto stavbu, postupovali súčasne smerom k Bevelandu, priemernou rýchlosťou 12 m za deň, so vzájomným odstupom 2-3 mesiace. Ostenie tunelových rúr je konštruované z betónových prefabrikátov hrúbky 450 mm. Spojky medzi tunelovými rúrami sa razili v hornine zmrazenej od vzdialenosti cca 2 m od lica výrubu. Primárne ostenie spojovacích prekopov tvoril striekaný betón hrúbky 25 cm a sekundárne železobetónový monolit hrúbky 40 cm.

Na záver prezentácie odpovedali účastníci zahraničnej cesty na množstvo otázok o technických podrobnostiach a o možnostiach ich využitia na pracoviskách Váhostavu Tunely a špeciálne zakladania.

The aforementioned facts caused that the tunnel was completed with one-year delay and financial costs almost doubled.

Success of the entire project is also evidenced by the fact, that the number of transit vehicles is twice the number in the past, when only a ferry could be used.

Full texts of lectures on CD can be obtained at SG - Geotechnika

A. Rozsypal

### EXCHANGE OF EXPERIENCE IN VÁHOSTAV – TUNELY A ŠPECIÁLNE ZAKLADANIA, a. s., BRATISLAVA

In order to keep a high professional level there has to be an ability to use every opportunity to learn and also from the experience of others. Participation of a group of senior employees - Ing. Schnierer, Ing. Sibert a Ing. Cúth - at the World tunneling congress in Amsterdam in April 12-17, 2003, was such opportunity for Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a. s.

Participants of the trip abroad did not keep the acquired knowledge for themselves, but presented them at a plenary meeting of technical staff of the company on April 28, 2003. Beside information about presentations within the Congress palace, summarized in the proceedings, they into detail described their experience from excursion to recently completed construction of the Westerschelde tunnel. The purpose of this investment with return in 30 years was to create one of the last missing road links in the island province Zeeland, and thus between Flanders and the central Beveland and through it also with other regions of the Netherlands. The Westerschelde tunnel created a permanent and independent replacement for the ferry service, which experienced severe downtimes during summer operation and was unable to operate at night or by unfavorable weather conditions. With a travel time of app. 30 minutes, ferry service transported a daily average of 7 500 vehicles using five ships with prospects of a year-to-year increase of about 2 %. Daily capacity of the tunnel is 27 000 vehicles.

Chief executive officer of the realizing VN Westerscheldetunnel company, Wim van de Linde, held a lecture for the excursion participants, in which he spoke about the procedure of construction, including four emergency situations. Westerscheldetunnel is a unique work. It is the longest tunnel in western Europe, excavated in soft rock. Therefore, it was necessary to use extensive experience from other countries, especially Japan. That is also the reason why this structure is in the center of attention of not only domestic, but also international professional community. The tunnel is 6,6 km long with gross diameter of 11,3 and maximal slope of 4,5 %. Time of construction including designing took 80 months and total costs reached 726 million Euro (excluding VAT). The tunnel consists of two single-direction tunnel tubes of circular cross section, while each contains two 3,5 m wide lanes. There are 12 meters of original rock between the tubes. The tubes are connected with one another every 250 m by a safety cross passage.

The tunnel tubes have been excavated in mainly clayey rock and partially in water-bearing sands using two bentonite shields, equipped with full-face cutters. Both driving machines made in Germany, designed particularly for this construction, advanced towards Beveland with average speed of 12 m per day and time difference of 2-3 months. Lining of the tunnel tubes is constructed from 450 mm thick precast concrete segments. Corridors between the tunnel tubes were excavated in rock that had been frozen up to 2 m away from the excavated opening. Primary lining of the cross passages consisted of 25 cm thick shotcrete and secondary of 40 cm reinforced monolith.

In the end of presentation, participants of the foreign trip answered many questions concerning technical details and possibilities of their use within workplaces of Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania.

Ing. Stanislav SIBERT  
Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a. s.  
BRATISLAVA



## ZPRAVODAJ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU

CZECH TUNNELLING COMMITTEE REPORTS  
(to attention of the CTuC members: Minutes of the CTuC General Assembly)

## ZÁPIS

ze zasedání Valného shromáždění Českého tunelářského komitétu ITA/AITES,  
které se konalo dne 3. června 2003 v hotelu Extol Inn, Přístavní 2, Praha 7

**Přítomni:** 36 delegátů zastupujících 30 členských organizací, 6 individuálních členů, 6 hostů, členové předsednictva a sekretariátu ČTuK, celkem 50 přítomných dle prezencní listiny uložené v sekretariátu ČTuK

**Omluveni:** Ing. Smolík, Ing. Štátný, Ing. Svoboda, Ing. Polák

**Program jednání:** podle pozvánky

**Předané podklady delegátům:**

- Pozvánka s programem jednání
- Výsledek hospodaření v roce 2002 a návrh rozpočtu na rok 2003
- Přehled Pracovních skupin (WG) ITA/AITES 2003 s uvedením zástupců ČTuK

### 1. Přivítání přítomných a zpráva o činnosti ČTuK za období od podzimního Pracovního shromáždění v Praze (Ing. Hess)

Činnost komitétu a jeho předsednictva pokračovala ve smyslu závěrů z Pracovního shromáždění v Praze. Byla zaměřena zejména na dobrou reprezentaci našeho komitétu na Světovém kongresu v Amsterdamu, na rozvoj činnosti našich dvou pracovních skupin - Stříkaný beton a Bezpečnost provozu v tunelech, na hospodaření komitétu a na přípravu konference PS Praha 2003. Předsednictvo dále projednávalo nutná opatření ke kandidatuře na uspořádání Světového tunelářského kongresu 2007 v Praze a zásadní úkoly jeho dlouhodobé přípravy.

### 2. Zpráva z jednání Executive Council ITA/AITES a ze Světového tunelářského kongresu v Amsterdamu (Ing. Hess)

Kongresu se zúčastnilo na 900 odborníků ze všech kontinentů. Příspěvky přednesené našimi zástupci měly velmi dobrou odezvu účastníků kongresu. K úspěšné propagaci našeho časopisu Tunel a konference PS Praha 2003 přispěl stánek ČTuK, kde byly k dispozici minulé ročník i jednotlivá čísla časopisu, přijímaly se subscripce, rozdávaly pozvánky na konferenci a přijímaly adresy zájemců o účast. Většina materiálů byla již první den rozebrána. Delegáty ČTuK na Valné shromáždění ITA/AITES byli předsednictvem ČTuK jmenováni Ing. Bělohav a Ing. Romancov, na meeting EC ITA/AITES a komunikačních médií Ing. Matzner. V doplňovacích volbách do EC ITA/AITES byl zvolen do funkce vice-prezidenta pan Oud a jako další člen předsednictva Angličan Knight. Významná rozhodnutí byla přijata v oblasti internetové komunikace a publikační činnosti: Tribune bude vycházet jednou ročně jako výroční zpráva a ITA bude měsíčně vydávat e-mailové noviny – e-mail News, kde bude aktuálně informovat o svých aktivitách a novinách v oboru podzemního stavitelství. Kromě toho bude dále vedena internetová stránka ITA/AITES. Tiskové komuniké z kongresu bude uvedeno v č. 3 časopisu TUNEL.

### 3. Zpráva o činnosti pracovních skupin WG ITA/AITES a o našem zastoupení (Ing. Valeš)

V předaném materiálu delegáti obdrželi přehled našich zástupců ve WG, animátorů a tutorů. Stále nemáme zástupce ve WG 5 Bezpečnost a zdraví. Vyzýváme členské subjekty, aby předaly do sekretariátu návrhy případných zájemců. Delegáti byli pak stručně seznámeni s rozsahem, resp. výstupy činnosti jednotlivých WG. Zpráva o aktivitách WG bude rovněž otištěna v č. 3 TUNEL.

### 4. Zpráva o výsledku hospodaření ČTuK v roce 2002 a schválení rozpočtu na rok 2003 (Ing. Doubek)

Z materiálů předaných delegátům vyplývá, že v uplynulém roce bylo dosaženo úspory 3,9 tis. Kč oproti plánovanému schodku 100 tis. Kč. Při tom byla odeslána část nedobytných pohledávek. K výrazné úspoře došlo v edičních nákladech na TUNEL v oblasti grafiky využíváním digitálních forem ilustrací. Trvalým negativem jsou skluzby v platbách STA, které činí 157 637 Kč za rok 2002. Tisnivou finanční situací koncem roku se nám podařilo překlenout porozuměním některých našich členských subjektů a úhradou členských povinností na rok 2003 v předstihu.

Rozpočet na rok 2003 byl sestaven s přihlédnutím k dosaženým výsledkům z minulého období a k již schválenému rozpočtu na konferenci PS Praha 2003. Očekávaný zisk je přímo závislý na dosažení plánovaného počtu 250 účastníků konference.

Delegáti hlasováním aklamací přijali jednomyslně **usnesení ad 3:**

**Zpráva o hospodaření v roce 2002 a předložený návrh rozpočtu na rok 2003 se bez připomínek schvaluje.**

### 5. Zpráva o stavu členské základny (Ing. Matzner)

Smlouva s Pragoprojektem byla podepsána. Tím bylo dosaženo celkového počtu členských organizací 41, tj. o 5 více, než jsme evidovali před rokem. Rozdělení podle kategorií: kat. A (velké dodavatelské organizace) - 3, B (malé dodavatelské) - 12, C (velké inženýrské) - 7, D (malé inženýrské) - 13, E (instituce a čestné členské subjekty) - 6. Stav individuálních členů je 32 (loni 33), k tomu však dnes přibyl další člen - Ing. Socha, který byl přítomnými delegáty uvítán. Tím se stav vrátil na původních 33. Delegáti byli vyzváni ke kontrole spojení (adresa, tel/fax, e-mail) resp. k průběžnému hlášení změn.

### 6. Zpráva o činnosti našich pracovních skupin (Prof. Příbyl, Ing. Hess)

Dvě pracovní skupiny úspěšně pokračují ve své činnosti:

#### 1) Výbor pro bezpečnost podzemních staveb ČTuK (předseda Prof. Příbyl)

Činnost skupiny se zaměřuje na aplikaci nejnovějších poznatků z vyhodnocení provozních havárií na podzemních stavbách z posledních let do připravovaných novel předpisů v rámci ČR. Tomu bude věnováno i další řádné zasedání Výboru svolané na 14. 7. 2003 do Metroprojektu Praha, I. P. Pavlovo 2, Praha 2. Hlavní náplní bude projednání návrhu směrnice Evropského parlamentu o minimálním vybavení tunelů v transevropské síti (dokument 2002/0309 COD) z hlediska dopadu na naše předpisy a standardy.

#### 2) Pracovní skupina Stříkaný beton v podzemním stavitelství (předseda Ing. Polák)

Skupina ukončila svůj první výstup „Doporučení pro aplikaci stříkaného betonu v podzemním stavitelství“. Po konzultaci s Prof. Bartákem byl výstup publikován na internetové stránce ČTuK.

### 7. Ediční záměry Redakční rady časopisu TUNEL v roce 2003/2004 (Ing. Romancov)

Vydáváme časopis společně s STA, s nímž se dělíme o ediční náklady. Skluzby v úhradě faktur tohoto podílu vážně ohrožují vydávání časopisu v dosavadním rozsahu a kvalitě, a to i přes úspory, kterých jsme dosáhli. Časopis je u nás i ve světě vysoko hodnocen, patří mezi čtyři nejlepší z našeho oboru a redakční rada je rozhodnuta z dosažené úrovně neslevovat a držet ji i nadále. O kvalitě časopisu rozhoduje nejen kvalita obsahu článků, ale i úroveň jejich grafických příloh. Zde máme ještě rezervy. Apelujeme proto na všechny autory, z nichž mnozí jsou z řad delegátů nebo z členských organizací, aby digitální grafické podklady pro tisk předkládali výhradně na nosiči (ne e-mailem), zpracovali je v jednodušené úpravě zaručující srozumitelnost i při nutném zmenšení, a popisky uvedli dvojjazyčně. Jinak je nutno prvky v obrázku očistovat a mimo grafickou přílohu napsat odpovídající českou legendu. Uzávěrka každého čísla je do konce prostředního měsíce čtvrtletí. Valné shromáždění přijalo již v roce 2001 usnesení, že každá členská organizace zajistí v běžném roce dva inzeráty (své či svých subdodavatelů, kooperantů apod.) a na každém dalším shromáždění si tento závazek připomínáme. Proto i dnes inzerce připomínáme jako důležitou položku v příjmové části rozpočtu ČTuK, který delegáti právě schválili. Redakční rada připravuje čísla 3 a 4 pro účastníky konference, při čemž č. 4 vyjde ke konferenci s úvodním předseď ČTuK a bude věnováno klíčovými příspěvkům v jednotlivých sekcích konference či jejich shrnutí.

### 8. Informace z činnosti příbuzných odborných společností (Prof. Aldorf)

Navázali jsme spojení s redakcí polského hornického časopisu (Prof. Aldorf je členem redakční rady). V jeho příštím čísle vyjde souhrnný článek Prof. Bartáka o českém podzemním stavitelství a očekáváme reciproční článek z polské strany. V dalším čísle dostáváme prostor na čtyři články. Zájemci o publikaci v polském tisku necht se přihlásí v sekretariátu ČTuK. Z činnosti příbuzných organizací uvádíme zajímavá sympozia a konference vč. spojení na organizátora:

25. - 28. 8. 2003, **Praha - XIII. kongres ISSMGE**, [ecsmge@guarant.cz](mailto:ecsmge@guarant.cz)

- 19. 9. 2003, **Petrohrad - mezinárodní konference: Rekonstrukce historických měst a geotechnické inženýrství**, [mbi@georec.spb.ru](mailto:mbi@georec.spb.ru), [www.georec.spb.ru/conference.htm](http://www.georec.spb.ru/conference.htm)

- 26. 9. 2003, **Malenovice-Frydlant n/Ostravici - sympóziom: Vláknobetony a vysokohodnotné betony 2003**, [sekurkon@sekurkon.cz](mailto:sekurkon@sekurkon.cz), [www.sekurkon.cz](http://www.sekurkon.cz)

13. - 15. 10. 2003, **Stockholm - mezinárodní konference GeoProc 2003: Přenos tepla, hmoty a chemických látek v horninovém prostředí**, [info@check-out.se](mailto:info@check-out.se), [www.geoproc.org](http://www.geoproc.org)

### 9. Stav přípravy konference PS Praha 2003 (Prof. Barták)

Přípravný výbor konference na právě skončeném jednání sumarizoval došlé příspěvky do jednotlivých tematických okruhů a konstatoval po uzavěrci tyto počty:

Okruh A: 9

Okruh B: 27

Okruh C: 42

Okruh D: 8

Dále projednal obsah připravované brožury Program konference, stanovil její časový pořad, vybral příspěvky k prezentaci na konferenci a odsouhlasil formulář přihlášky. Dále uzavřel seznam 86 příspěvků, které budou zahrnuty do Sborníku konference a některé vrátil autorům k doplnění. Téměř třetina příspěvků je od zahraničních autorů.

### 10. Organizační opatření nutná k uvažovanému uspořádání Světového tunelářského kongresu ITA/AITES v roce 2007 v Praze (Ing. Hess, Ing. Romancov)

O místě konání kongresu 2007 a tím i místě Valného shromáždění ITA/AITES se bude rozhodovat v příštím roce v Singapuru. Náš zájem je nutno prezentovat již letos na podzim a oficiální žádost o uspořádání podle stanov ITA/AITES poslat začátkem příštího roku. Protože národní organizace ITA/AITES je garantem akce, její předseda se na příslušnou dobu do roku konání kongresu stává členem Executive Council. Naše současné předsednictvo má mandát do příštího roku, kdy by měly být volby nového předsednictva. Protože však naše žádost musí být odeslána dříve, doporučuje stávající předsednictvo uspořádat volby nového předsednictva, které bude za uspořádání kongresu odpovídat, již letos při Pracovním shromáždění ČTuK koncem listopadu. Kongres je nutno uspořádat na zcela profesionální úrovni a na základě smluv o obchodních vztazích, uzavřených následně po kládném rozhodnutí ITA/AITES v první polovině roku 2004.

Delegáti hlasováním aklamací přijali jednomyslně **usnesení ad 10.:**

**Uspořádání voleb do předsednictva ČTuK v navrhovaném termínu při Pracovním shromáždění v tomto roce se z přednesených důvodů bez připomínek schvaluje.**

K tomu účelu je nutné, aby členské organizace podaly návrh svých kandidátů na funkce předsedy a členů předsednictva nejpozději do 30. září 2003 do sekretariátu ČTuK.

### 11. Různé

Delegáti byli požádáni o zajištění podzimního Pracovního shromáždění s možností prezentace vlastní firmy a s případnou exkurzí na zajímavou stavbu. Zájemci necht se přihlásí v sekretariátu ČTuK.

### 12. Aktuální informace webmastera ČTuK o naší internetové stránce a o stránce ITA/AITES (Ing. Mařík)

Ing. Mařík demonstroval obsah stránky ČTuK a návaznost na stránku ITA/AITES. Upozornil na uvedená čísla časopisu TUNEL a stránku novin z našich podzemních staveb. Členové ČTuK tuto možnost propagace činnosti vlastních firem stále málo využívají.

### 13. Diskuse o aktuálních zajímavostech z podzemního stavitelství v ČR:

Po úvodním slově Prof. Bartáka byly prezentovány informace s videoprojekcí ze staveb:

- Nové spojení (Ing. Gramblička, SUDOP)
- Krasikovské tunely (Ing. Doubek, SUBTERRA, Ing. Cyproň, METROSTAV)
- Jednotlivé stanice pražského metra (Ing. Růžička, METROPROJEKT, Ing. Zelenka, METROSTAV)

Zapsal: Ing. Matzner  
Ověřil: Ing. Hess