

# 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)*



Umíme Vám  
rozdat správné karty



Matematické modelování  
Geotechnický průzkum  
Geotechnické zkušebnictví  
Geotechnický monitoring  
Projekty geotechnických staveb  
Řízení geotechnických rizik  
Geotechnický dozor

Sudoměřská 25, 130 00 Praha 3

Telefon: 222 713 530

Fax: 222 717 496

[www.age-as.cz](http://www.age-as.cz)

**AGE**®

Spolehlivý spoluhráč pro velké stavby

## VÁŽENÍ A MILÍ ČTENÁŘI,

Jsem velmi rád, že mi byla dána příležitost prezentovat naši společnost a já mohu touto cestou připomenout milníky na dlouhé cestě k naší dnešní zavedené firmě a zvláště podtrhnout segment podzemních staveb.

Uplynulý rok byl pro nás (a samozřejmě pro všechny, kdo měli to štěstí a byli našimi zákazníky, dodavateli a spolupracovníky) rokem jubilejním. Znamenal 45 let nepřetržité činnosti, z toho posledních 35 let pod jménem GEOTest Brno. V roce 1958 byl ustanoven nový národní podnik Geologický průzkum Brno, v němž byly již od roku 1960 v rámci zřízeného Závodu stavební geologie řešeny úkoly z oblastí inženýrské geologie a hydrogeologie na vysoké úrovni. Po krátkém období, kdy jsme v uvedených činnostech působili v rámci IGHP, n. p. Žilina, byl v roce 1968 delimitací vytvořen nový podnik GEOTest Brno, v němž jsme tyto činnosti a odbornosti dále rozvíjeli. Během roku 1992 se firma úspěšně privatizovala v kupónové privatizaci a soustředila se na inženýrské činnosti v aplikované geologii. Ve své dnešní podobě se jedná o dlouhodobě prosperující soukromou firmu, která dosahuje se svými 150 pracovníky ročního obrátu převyšujícího 300 milionů korun. Vyvíjí se i skladba činností, když se kromě tradičních oborů více soustřeďujeme i na služby pro životní prostředí.

S podzemními stavbami byla tradičně spojena činnost našich středisek geotechniky, inženýrské geologie, mechaniky hornin a zemin a geofyziky. Zejména v oboru polního geotechnického zkušebnictví a mechaniky hornin náležíme k několika málo firmám, které si udržely a zdokonalily své know-how. Lze říci, že s výjimkou výstavby pražského metra se naši pracovníci v minulosti podíleli na řešení téměř všech významných stavebních akcích s podílem podzemních staveb, a to jak ve fázích průzkumů, tak i jejich realizace, pokud jejich součástí byla problematika mechaniky hornin. Z děl, kde významný podíl tvořily podzemní stavby, mohu připomenout realizované přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně a Čierný Váh a dosud nerealizované, příp. alternativně řešené Hrhov, Malá Vieska, Křivoklát a Caracusey (Kuba), kde byl řešen komplex problémů mechaniky hornin pro náročné stavby kaveren, štolových přivaděčů, obtokových tunelů. Z vodozvodňáckých liniových staveb chci jmenovat alespoň vodovodní přivaděče Slezská Harta, II. březovský vodovod, Nová odvodňovací štola Hodruša - Banská Štiavnica a nedávno dokončený Brněnský oblastní vodovod - 24 km štol. Při přípravě a realizaci těchto staveb byly v rámci komplexních průzkumů řešeny otázky pevnosti a deformačních vlastností skalních masivů při hlubokém zakládání, problematika výstavby obtokových štol a tunelů, stabilita vysokých skalních stěn. V podzemních stavbách u dopravních staveb se uvedená činnost uplatnila zejména při rekonstrukci tunelů na železniční síti, zejména na trati Brno - Česká Třebová (6 tunelů) a II. železničního koridoru (Třebovický a Tatenický tunel), ale i na dalších tratích po celé republice, např. tunely Jarovský, Novohamerský, Lučanský atd. Z novostaveb jsme naši odbornost uplatnili mj. u tunelů železničních (Novohradský na zmíněné trati Brno - Česká Třebová), silničních, resp. dálničních (Brno - Pražská radiála, Brno - Kohoutova), kolektorů v Brně - primární a sekundární síť, i dosud nerealizovaných tramvajových tunelů v Brně.

Zdále se však nejedná jen o historii. Nedávno byl dokončen průzkum pro trasování tunelu pod Červenohorským sedlem a pro dálniční tunel Klímkovice, loni se dokončil náročný průzkum pro tunel Dobrovského v Brně a probíhá dále geotechnický sled a monitoring přesypáného tunelu na obchvatu Jihlavy a pro pět staveb kolektorové a stokové sítě v Brně.

Věřím, že uvedený historický přehled připomenul nemalý podíl naší firmy na českém podzemním stavitelství a chtěl bych poděkovat všem obchodním partnerům za spolupráci a důvěru, které si vážíme a která nás zavazuje i do let příštích.



## DEAR READERS,

*I am happy that I have been given this opportunity to present our company and remember the milestones on our long way to the current well-established firm, with a special stress placed on the segment of underground construction.*

*The last year was a jubilee year for us (and obviously for all of those who were so lucky and were our customers, suppliers and co-operators). We celebrated 45 years of our uninterrupted work, carried out under the current name of GEOTest Brno already for 30 years. A new national enterprise, Geologický Průzkum Brno (Geological Survey Brno), was established in 1958. This enterprise, namely its plant Závod Stavební Geologie established in 1960, solved tasks from the field of engineering geology and hydrogeology on a high level. After a short period of our work in this field under the IGHP n.p. Žilina company, the new enterprise GEOTest Brno was created (by delimitation), where we further developed those activities and expertise. During 1992 the firm was privatised successfully in the framework of the process of coupon privatisation. It focused on engineering services in the field of applied geology. In its current condition, GEOTest Brno is a long-term prospering private firm, which achieves annual turnover over CZK 300 million with its 150 employees. Also the pattern of our activities has developed. Apart from traditional fields, we are more focusing on environmental services.*

*The activities of our departments of geotechnics, engineering geology, rock and soil mechanics, and geophysics have been traditionally associated with underground projects. Namely in the area of field geotechnical testing and rock mechanics, we belong among the few firms which have retained and developed their know-how. We can state that our workers participated in nearly all major projects containing a share of underground construction (with an exception of the Prague Metro), both in the survey and construction phases, if the rock mechanics issues were involved. Out of the projects where underground structures presented significant shares of the works, I can remember the completed pumped storage schemes Dlouhé Stráně and Čierný Váh, and non-completed or alternatively solved schemes Hrhov, Malá Vieska, Křivoklát and Caracusey (Cuba), where a complex set of rock mechanics issues was solved for caverns, aqueduct tunnels and diversion tunnels. Out of water resources line structures, I would like to mention at least the water supply conduits Slezská Harta, Březov Water Supply II, New Drainage tunnel Hodruša - Banská Štiavnica, and recently completed Brno regional water distribution project (24 km of tunnels). Complex surveys were conducted in the planning and implementation phases of those projects; we solved issues of strength and strain properties of rock massifs at deep foundation, an issue of construction of deep diversion adits and tunnels, or stability of high rock walls. Regarding underground construction for traffic-related projects, the above-mentioned skills were applied namely to reconstruction to railway tunnels, e.g. those on the Brno - Česká Třebová line (6 tunnels) and the Railway Corridor II (the Třebovice and Tatenice tunnels), but also on other lines all over the republic, e.g. the Jarov, Nové Hamry, Lúčany and other tunnels. There are also new structures where we utilised our expertise, among others railway tunnels (the Nové Hradky tunnel on the above-mentioned Brno - Česká Třebová line), road or highway tunnels (the Prague radial road in Brno, Kohoutova tunnel in Brno), collectors in Brno (primary and secondary network) and still unrealised tram tunnels in Brno.*

*This story is far from history. A survey for delineation of a tunnel under Červená Hora Col and a survey for the Klímkovice highway tunnel were completed recently; a demanding survey for the Dobrovského tunnel in Brno was completed last year, and a geotechnical observation and monitoring for a covered in tunnel structure on the Jihlava bypass road and for five structures of the collector and sewerage network in Brno.*

*I believe that the above historic review gave a good indication of the significant contribution of our company to the Czech underground construction. I wish to thank all business partners for their co-operation and trust. We appreciate it, and regard it as an obligation we will be put under during the years to come.*

**RNDr. Lubomír Procházka**  
ředitel společnosti - General Manager  
GEOTest Brno, a. s.

## GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM PRO NEJVÝZNAČNĚJŠÍ STAVBU NA VELKÉM MĚSTSKÉM OKRUHU V BRNĚ – TUNEL DOBROVSKÉHO

### GEOTECHNICAL EXPLORATION FOR THE DOBROVSKÉHO TUNNEL, THE MOST SIGNIFICANT STRUCTURE ON THE LARGE CITY RING ROAD IN BRNO

ING. JIŘÍ PAVLÍK, CSc., RNDr. LUBOMÍR KLÍMEK, ING. DAVID RUPP, GEOTEST BRNO, a. s.

#### 1. ÚVOD

Dlouhodobě neúměrně vysoká hustota dopravního provozu v Brně naléhavě vyžaduje odlehčení v podobě velkých dopravních staveb. Jako součást prstence stavby Velký městský okruh v Brně byl již vybudován hloubený Husovický tunel a na přípojném dálničním přívaděči Pražská radiála ražený Pisárecký tunel. Příprava třetí stavby – tunelu Dobrovského je v pokročilém stadiu.

Díky podpoře investorských útvarů zastoupených Statutárním městem Brno a Ředitelstvím silnic a dálnic ČR došlo v roce 2001 k nastartování procesu přípravy investice formou průzkumných štol, které jsou důlními průzkumnými díly budovanými hornickým způsobem ve finančním objemu 300 mil. Kč. Generálním dodavatelem geotechnického průzkumu bylo sdružení firem Štoly Dobrovského, jehož součástí byly organizace GEOTest Brno, a. s. – vedoucí sdružení a garant výsledků průzkumu a tři stavební firmy Metrostav, a. s., Subterra, a. s., a ŽS Brno, a. s., zodpovědné za ražbu štol a související stavební práce.

V srpnu 2003 byly dokončeny tři průzkumné štoly, jejichž cílem bylo nalezení optimální technologie ražeb a celkového projekčního řešení stavby. Generální projektant, firma Amberg Engineering Brno, a. s., jenž v současnosti dokončuje projekt pro stavební povolení a zadání stavby, uvažuje provádět tunelové dílo technologií ražby vertikálně a horizontálně členěného výrubu. Této technologii byl podřízen tvar a umístění průzkumných štol, které budou trvalou součástí plných profilů tunelů.

Účelem realizace průzkumných štol a souvisejících průzkumných prací bylo:

- vyšetření inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů v prostoru tunelu,
- ověření navrhované technologie ražby a odstranění případných problémů při ražbě,
- stanovení účinků ražby na městskou zástavbu v maximálním rozsahu,
- vyčtěžení cca 20 % celkového objemu tunelů.

#### 2. PŘEDMĚT A KONCEPCE PRŮZKUMU

Předmětem průzkumu byla trasa tunelu tvořeného dvěma troubami o délkách 1237 m (severní – označovaný jako tunel I) a 1258 m (jižní – označovaný jako tunel II), z čehož na raženou část připadá 1019 m, resp. 1060 m. Zadání průzkumu předpokládalo vyražení tří průzkumných štol přibližně trojúhelníkového příčného profilu v prostoru tunelových trub při patách jejich kleneb, jež budou využity při budovce výstavbě tunelového díla. Celková délka průzkumných štol činí přes dva kilometry (IIA 831 m, IIB 831 m a IB 365 m). Z technologických důvodů nesledovaly štoly celkovou délku projektovaných tunelových trub (obr. 1).

Návrh průzkumných prací respektoval požadavky zadané generálním projektantem díla. Sestával se z rozsáhlého komplexu prací především zaměřených na vyšetřování chování terciérních jííl, ve kterých bude ražen rozhodující objem budoucích tunelových trub:

1. *Rešeršní zhodnocení geotechnických parametrů brněnských jííl.*
2. *Geologický sled a dokumentace při ražbě* – nepřetržitý geologický dozor, dokumentace čeleb, odběr vzorků zemin, strukturální měření.
3. *Odkryvné práce na povrchu* – jádrové vrty inženýrskogeologické, strukturální vrty, vrty hydrogeologické pozorovací a vrty geotechnického monitoringu, penetrační sondy.
4. *Laboratorní zkoušky mechaniky zemin, mineralogické a rentgenové analýzy, chemické rozborů vod.*
5. *Geofyzikální měření* – vertikální elektrické sondování a mělká refrakční seismika na povrchu, karotážní měření, ve štolách seismická dokumentace pro stanovení anizotropie masívu, stanovení Poissonova čísla z měření rychlostí podélných a příčných vln, seismické prozařování mezi vrtem a povrchem a mezi štolami pomocí seismické tomografie, měření korozivity a bludných proudů.
6. *Pasportizace vodních zdrojů a režimní hydrogeologické měření* – komplexní pravidelné sledování vlivu ražby na vodní zdroje a jejich kvalitu a kvantitu.
7. *Polní geotechnické zkoušky a měření v rozrážkách* – zatěžovací zkoušky pro stanovení přetvárných charakteristik, smykové zkoušky s předurčenou plochou porušení, při ražbě rozrážek měření napjatosti masívu konvergenční metodou v kruhovém profilu, měření svíravosti jííl a propustnosti in situ.

#### 1. INTRODUCTION

Constantly unacceptable high density of traffic in Brno urgently requires relief in terms of large traffic structures. As part of the constructed Large City Ring Road (LCRR) in Brno, the cut-and-cover Husovický tunnel and mined Pisárecký tunnel on the highway feeder Prague Radial Road already been constructed. Preparation of the third structure – Dobrovského tunnel has markedly advanced.

Thanks to the support of investment bodies represented by the Brno municipality and the Directorate of roads and motorways in the CR, the process of the investment preparation was launched in form of exploratory galleries, which represent underground exploratory works constructed using the mining method that cost 300 mil. Kč. A consortium of companies Štoly Dobrovského was delegated to be the general contractor of the geotechnical exploration. It consisted of GEOTest Brno, a.s. – leader of the consortium guaranteeing the exploration results, and three construction companies Metrostav, a.s., Subterra, a.s. and ŽS Brno a.s. responsible for excavation of the galleries and connected engineering works.

Three exploratory galleries were completed in August 2003, whose purpose was to find an optimal technology of excavation as well as total design solution of the construction. General designer Amberg Engineering Brno, a.s., which is currently about to finish the final design, considers realization of the tunnel structure using the technique of vertically and horizontally segmented excavation. Shape and location of the exploratory galleries, which will become permanent part of the full tunnel profiles, have been conformed to this technology.

The purpose of realization of the exploratory galleries and connected exploratory works was to:

- analyze engineering-geological and hydrogeological conditions in the tunnel area;
- verify the proposed excavation technology and remove potential problems during excavation;
- determine the maximum range of impacts of excavation on the urban area;
- excavate app. 20% of the total tunnel volume.

#### 2. OBJECT AND CONCEPT OF THE EXPLORATION

Object of the exploration was the tunnel route consisting of two tubes in lengths of 1237 m (northern – designated as tunnel I) and 1258 m (southern – designated as tunnel II), from which 1019 m and 1060 m fall on the mined part. Commission for the exploration estimated the excavation of three exploratory galleries with approximately triangular cross section in the area of tunnel tubes at the bases of their vaults, which will be used during the future construction of the tunnel structure. Total length of the exploratory galleries reaches something over 2 km (IIA 831 m, IIB 831 m and IB 365 m). Due to technological reasons the galleries did not pursue the entire length of the designed tunnel tubes (Fig. 1).

Proposal of the exploratory works respected requirements laid forth by general designer of the work. It consisted of extensive complex of works, mostly focused on analysis of the behavior of tertiary clays, within which predominant part of the future tunnel tubes will be excavated:

1. *factual evaluation of geotechnical parameters of the Brno clays.*
2. *geological observation and documentation during the construction* – constant geological monitoring, documentation of the faces, collection of soil samples, measurement of structure.
3. *Open-trench works at the surface* – engineering-geological core-bores, structure bores, monitoring hydrogeological geotechnical bores, penetrating probes.
4. *Laboratory tests of rock mechanics, mineralogical and x-ray analyses, chemical analyses of waters.*
5. *Geophysical measurements* – vertical electric probing and shallow refraction seismic survey at the surface, borehole survey, seismic documentation in the galleries for determination of the massif anisotropy, determination of the Poisson's ratio from measurements of velocity of axial and lateral waves, seismic radiation between the bore and surface and between the galleries using seismic tomography, measurement of corrosiveness and stray currents.
6. *Passportization of water resources and regime hydrogeological measurement* – regular complex observation of impacts of the excavation on water resources as well as their quality and quantity.
7. *Field geotechnical tests and measurements in test galleries* – loading tests for

8. Geotechnické zkoušky a měření ve vrtech, deformační vlastnosti a pokusné měření napjatosti.
9. Geotechnický monitoring realizovaný jednak na povrchu území, jednak uvnitř průzkumných štol – nivelace poklesové kotliny na terénu a objektech, ve vrtech měření pórových tlaků, měření extenzometry a inklinometry a ve štolách měření konvergence, nivelace výztužných prvků a tlaků na obezdívku.
10. Fyzikální modelování s použitím ekvivalentních materiálů, stanovení deformací od ražby štol i při ražbě tunelu členěným výrubem pro jednotlivé fáze ražby.

Pro tento účel byly navrženy 4 půdorysně zalomené rozrážky kruhového profilu  $\varnothing$  1900 mm pro umístění speciálních polních geotechnických zkoušek. Jejich počva byla zvýšena o 0,5 m proti úrovni počvy směrné chodby štolý IIB, z jejíž levé stěny byly rozrážky raženy. Rozrážky byly součástí tzv. míst soustředěného průzkumu, v nichž se koncentrovaly všechny hlavní průzkumné a zkušební metody geotechnického průzkumu i monitoringu. Tato místa obsahovala dále celkem 5 vrtů hloubených z povrchu. Jejich rozmístění ukazuje situace místa soustředěného průzkumu obr. 2.

### 3. PRŮBĚH RAŽBY

Před zahájením razicích prací byl na podzim 2001 realizován prvotní podrobný průzkum trasy štol a místa vstupního královopolského portálu, jenž sloužil k upřesnění geologické stavby a hydrogeologických poměrů. Současně byl vybudován monitorovací systém jak ve zmíněných místech soustředěného průzkumu, tak i po celé délce trasy pro sledování poklesů území a deformací objektů na povrchu v důsledku ražby štol i budoucích tunelových trub. Jako informační databáze byla na stavbě zřízena centrální evidence dat pro ukládání digitálních záznamů veškerého monitoringu, polních zkoušek, provozních a geodetických měření. Digitální záznamy z řádově několika tisíc změřených údajů byly v počítačové síti stavby k dispozici všem účastníkům akce. Jejich vyhodnocování pravidelně prováděla odborná skupina specialistů.

Nejprve byl realizován provizorní portál Královo pole konstrukcí kotvené podzemní stěny hloubky 18,0 m, do níž po odkrytí lícni části byly speciálními diamantovými nástroji vyříznuty otvory ve tvaru následně ražených štol šířky v počvě 4,75 m, a max. výšky v záklenu 4,03 m. Před vlastní ražbou, jež probíhala proti staničení z Králova pole směrem do Žabovřesek, byly kolem obvodu štol vytvořeny klasické mikropilotové deštníky délky 16 m. Ostění štol sestávalo z nosných rámu z válcované dlužní výztuže K 24 v rozestupu 1 m a střihaného betonu B 20 mocnosti 10 cm vyztuženého KARI sítí. Ražba v jílech byla prováděna strojem ITC ve všech třech štolách vyjma krátkého úvodního úseku. Doprava byla řešena v delších štolách jako kolejová, v kratší štole se uplatnil pneumatikový dumper.

Okamžitě po započatí ražby byly zastíženy nejspříznivější geologické podmínky trasy s výskytem kvartérních zvodněných štěrků v úvodních 60 metrech. Nepředvídatelně chaoticky uložené štěrpkovité říčky Ponávky meandrující v tomto prostoru měly v každé ze tří štol proměnlivou mocnost a zastoupení, které se koncentrovalo při vrchliku štol (viz obr. 3).

Pro zajištění stability výrubu štol a nadložní zástavby v tomto úvodním úseku se muselo přijmout mimořádné technické opatření. Jednalo se o realizaci pěti řad mikropilotových vějířů délky 12 m se čtyřmetrovým překryvem vrtaných z podzemí po obvodu všech tří průzkumných štol. I když se jednalo o komplikované, náročné a ražbu zpomalující opatření, ukázalo se jako účinné. Pod jeho ochranou štolý prošly bez dalších mimořádných událostí pod zástavbou ulice Poděbradova přes kvartérní vrstvy a ve vzdálenosti asi 60 m od ústí se plným profilem zahloubily do terciérních jílu. Nepříznivá geologie v úvodní části štol byla dále komplikována značným přítokem podzemní vody z kvartérní zvodně, nízkým nadložím (4 – 7 m) a čerstvými nástavbami dvou vícepodlažních domů na ulici Poděbradova. Razičské

determination of deformation statistics, shear tests with predestined area of faulting, measurement of massif tension using convergence method in a circular cross section during the excavation of test galleries, measurement of clay contraction and in situ permeability.

8. Geotechnical tests and measurements in the bores – measurements of deformation attributes and trial stress measurements

Geotechnical monitoring realized both at the surface and inside the exploratory galleries – leveling of the settlement trough in terrain and structures, measurements of pore pressures in the bores, measurements of convergence in the galleries and measurements using extensometers and inclinometers, leveling of the reinforcing elements and pressures in the lining.

Physical modeling using equivalent materials, determination of deformations after the gallery excavation and also during the sequential excavation of tunnel for separate phases of the excavation.

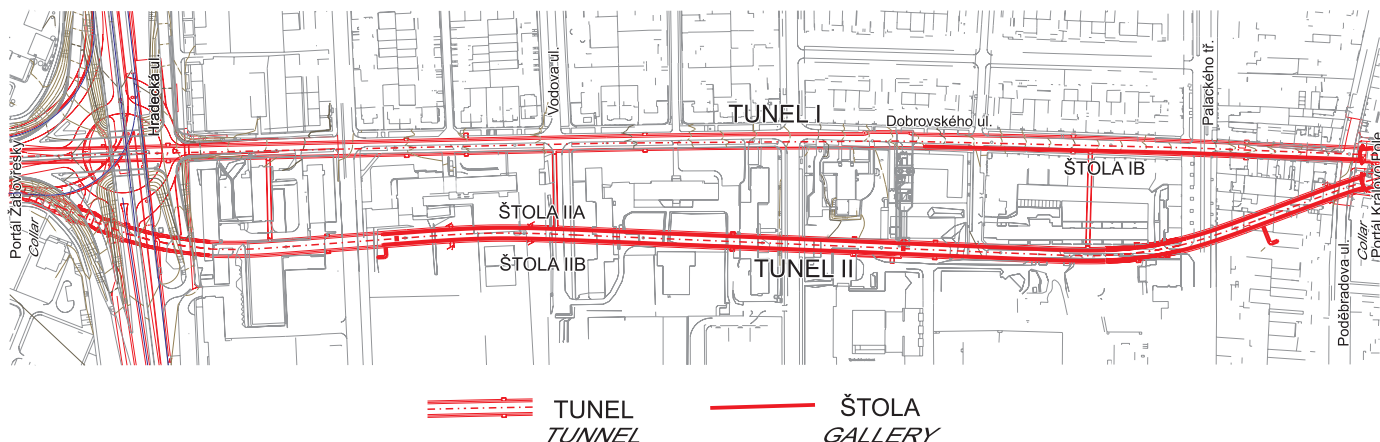
For this purpose, 4 bent test galleries of circular cross section  $\varnothing$  1900 mm were designed for location of the special field geotechnical tests. Their floor was bend in ground plan elevated by 0,5 m against the level of floor of axial corridor of the IIB gallery, from whose left-side wall the test galleries were started. The tests galleries were part of the so-called concentrated exploration, which brought together all main exploratory and testing methods of geotechnical exploration as well as monitoring. These places further contained a total of 5 bores, carried out from the surface. For their dislocation within the concentrated exploration see Fig. 2.

### 3. THE PROCESS OF EXCAVATION

Prior to the start of excavation works in fall 2001, an initial detailed exploration of the tunnel routes and location of entry of the Královopolský portal was realized. It later served for specification of the geological structure as well as hydrogeological conditions. At the same time, a monitoring system was established, both in the aforementioned places of concentrated exploration and along the entire route, for observation of terrain settlements and deformations of structures on the surface as a result of excavation of the gallery or future tunnel tubes. A central registry was established as an information database at the construction site for storage of digital records of the entire monitoring, field tests, and operational and geodetic measurements. Digital records of estimated several thousand measured entries were available to all participants of the proceeding on the construction's computer network. They had been regularly evaluated by a group of specialists.

First, the provisory portal Královo Pole was realized by framework of fixed 18,0 m deep diaphragm wall, into which, following uncovering of the front section, openings were cut using special diamond devices in the shape of consequently excavated galleries with width of the floor 4,75 m and max. height of the niche 4,03 m. Prior to the own excavation, which proceeded counter chainage from Královo Pole towards Žabovřesky, 16 m long classic micropile umbrellas were created around the gallery periphery. Lining of the galleries consisted of bearing frames from rolled mining reinforcement K24 with 1 m spacing and 10 cm thick B 20 shotcrete reinforced with KARI net. Excavation within clays was carried out using the ITC machine in all three galleries excluding a short initial section. Transport in the longer galleries was designed as monorail, a pneumatic dumper proved useful in the shorter ones. Immediately after the excavation started, the most complicated geological conditions of the track with occurrence of Quaternary watered gravels were encountered in the first 60 m. Unpresumably chaotically deposited sand-gravels of the Ponávka river meandering in this area had in each of the three galleries a variable thickness and representation, which concentrated at the gallery roof (see Fig. 3).

Special technical measures had to be adopted in order to provide for stability of the gallery excavation as well as urban area in the overburden of this initial section. These were represented by realization of five rows of 12 m long micropile fans with a four-meter cover, bored from the underground along periphery of all three



Obr. 1 Umístění štol a projektovaných tunelů v zástavbě města Brna  
Fig. 1. Exposure of galleries and designed tunnels in urban area of Brno

firmy byly zde nuceny záhy vyzkoušet řadu opatření a změn technologických postupů jako členěný výrub, hnané pažení, chemickou injektáž, které však nepřinesly očekávaný účinek. Současně se zvýšenými přítoky vody do podzemního díla se nastartovaly deformace na nejbližší zástavbě. Deformace na objektech zde dosáhly v poklesové kotlině nad štolami IIA a IIB až 50 mm.

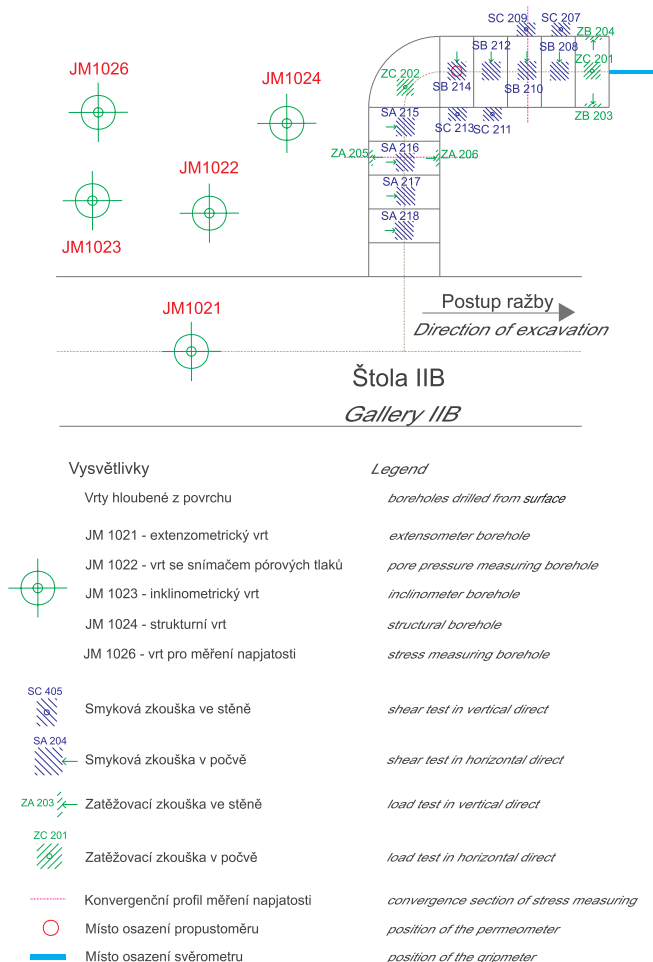
Dalším velkým problémem bylo podejít ulice Palackého s tramvajovým provozem lemované až šestipatrovými domy, z nichž některé byly ve velmi špatném statickém stavu. S ohledem na vysokou prioritu bezpečnosti na povrchu zastavil investor preventivně ražbu ve štolách IIA a IIB na 2 a 3 měsíce. V tomto časovém intervalu byla realizována provizorní statická opatření ve 3 domech v budoucí poklesové kotlině. Dále byl modifikován postup ražby s cílem minimalizovat deformace na povrchu. Bylo rozhodnuto stavět výztužné rámy v hustším rozestupu po 0,5 m (ve štolách IIA a IIB), počtu vyztužit příčnými nosníky HEB (ve štole IB) a vkládat roznašecí betonové prefabrikáty pod ocelovou výztuž v počvě ve všech třech štolách. Rovněž bylo rozhodnuto postupovat s ražbou štol IIA a IIB ve 100 m odstupu a doplnit monitorovací systém pro plné uplatnění observační metody. Přijetím uvedených opatření při obnovené ražbě byla zástavba ulice Palackého úspěšně překonána, přičemž deformace zůstaly v prognózované hranici 30 mm.

V dalším pokračování ražby štol IIA a IIB bylo ražení v plném profilu v terciérních jílech s relativně vyšším nadložím bezproblémové, razilo se podle původního technologického postupu bez vzniku mimořádných deformací – deformace dosahovaly předpokládaných hodnot. Při ražbě štol IB se problémy s deformacemi kromě popisovaného úvodního úseku nevyskytovaly. Deformace zde dosahovaly pouze 10 – 20 mm a ražba nepřerušovaně pokračovala až do konečné délky. Štoly tunelu II byly propojeny dvěma spojovacími chodbami a doplněny jedním únikovým výchozem na povrch.

Denní postup ražby činil až 4,0 m při délce jednoho záběru max. 1,0 m. Celková doba provádění stavebních a průzkumných prací byla 24 měsíců, vlastní ražby asi 12 měsíců, při níž bylo vytěženo cca 200 000 m<sup>3</sup> materiálu. Dílo bylo investorovi předáno bez závad a nedodělků ve smluveném termínu v srpnu 2003.

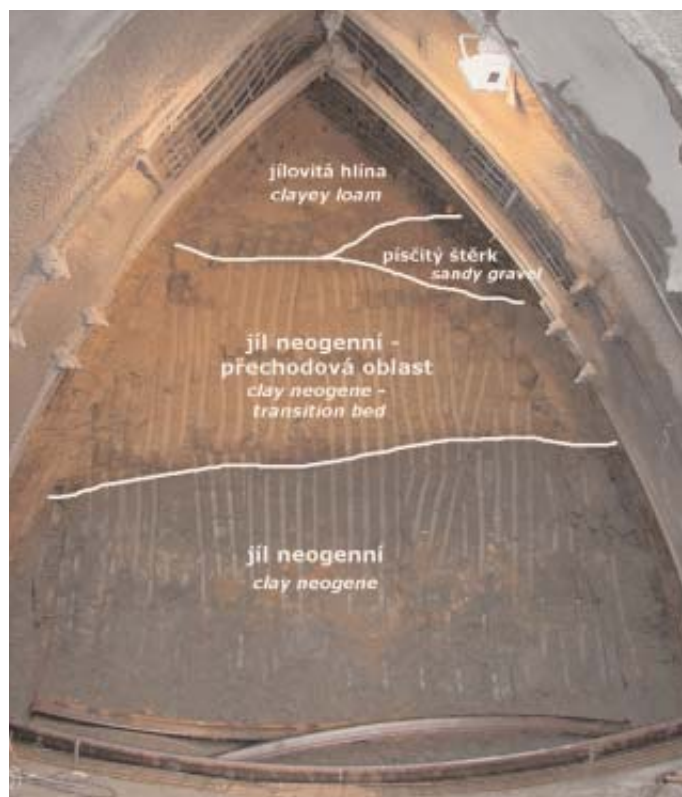
#### 4. METODIKA INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

Koncepce inženýrskogeologického průzkumu byla volena tak, aby průzkumné práce prováděné z povrchu byly sladěny s činností v podzemí. Celkem bylo v linii projektovaných tunelů vyhloubeno 22 jádrových vrtů. Hloubka vrtů se pohybovala



Obr. 2 Rozmístění průzkumných děl v místech soustředěného průzkumu  
Fig. 2 Layout of geotechnical works in places of concentrated investigation

exploratory galleries. Although it was supposed to be a complicated, challenging and excavation-retarding measure, it proves effective. With its protection, the galleries proceeded without any further extraordinary events below urban area of Poděbradova street, passing through Quaternary layers and within the distance of app. 60 m from the portal they penetrated into Tertiary clays in full profile. Unfavorable geology in the initial gallery sections was further complicated by extensive groundwater inflows from Quaternary watering, by low overburden (4-7 m) and recent reconstruction of the two multi-storey houses in Poděbradova street. Companies realizing the excavation were soon forced to undertake several measures and change the technological procedures such as sequential excavation, forepoling, chemical grouting, which did not, however, bring the desired effect. Along with increased water inflows in the underground work, deformations in the immediate urban area began to appear. Deformations of structures in this settlement trough above galleries IIA and IIB reached even 50mm.



Obr. 3 Charakteristický sled vrstev v čelbě štoly v počátečním úseku ražby  
Fig. 3 Typical bedding of layers documented on gallery's face in initial section of excavation

There was another major problem in underpassing Palackého street with its tram traffic and nearby up to six-floor houses, some of which were in pretty bad structural condition. With regards to high priority of safety at the surface, the investor preventively halted excavation of the IIA and IIB galleries for 2 and 3 months. During this time period, provisory structural measures were realized in three houses within the future settlement trough. Moreover, the process of excavation was modified in order to minimize deformations at the surface. It was decided to construct support frames with denser spacing of 0,5 m (in galleries IIA and IIB), to reinforce the floor using lateral beams HEB (in gallery IB) and to insert spread footing (concrete prefabricates) below the steel reinforcement of floor in all three galleries. It was also decided to proceed with excavation of the IIA and IIB galleries with 100 m distance between the faces, and to supplement the monitoring system for full utility of the observation method. By adoption of these measures, urban area of the Palackého street was successfully crossed during resumed excavation, while the deformations remained at the estimated level of 30 mm.

Continued excavation of the IIA and IIB galleries proceeded without problems with full-profile excavation within Tertiary clays with relatively high overburden, the original technological procedure of excavation was applied without the occurrence of extraordinary deformations – deformations were reaching estimated values. With the exception of the described initial section, there were no problems with deformations during excavation of the IB gallery. Deformations here reached only some 10 – 20 mm and the excavation proceeded uninterrupted up to the final length. Galleries of the tunnel II were linked by connecting corridors and complemented by one emergency exit to the surface.

Daily progress of the excavation reached 4,0 m with max 1,0 m length of one advance. The total time for realization of engineering and exploratory works added up to 24 months, the own excavation then 12 months, during which app. 200 000 m<sup>3</sup> of material was excavated. The work was handed over to the investor without defects or omissions within the contractual deadline due in August 2003.

v rozmezí 8,0 – 20,0 metru. Úkolem sondážních prací bylo zejména podat informaci o kvartérním pokryvu území a úrovni povrchu podloží tvořeného neogenním jílem. Inženýrskogeologické vrty byly navrženy tak, aby spolehlivě odkrývaly profil tunelového nadloží a přitom nezasáhly do volného prostoru budoucích tunelů. Vybrané vrty byly vystrojeny pro sledování oscilace hladiny podzemní vody. Ve zmíněných místech tzv. soustředěného průzkumu byly vyhloubeny pětice vrtů geotechnických měření a monitoringu. Jednalo se jednak o vrty pro jednorázová měření vlastností neogenního masivu, jednak o vrty sledující chování masivu během ražby průzkumných štol v čase. V rámci těchto vrtných „hnízd“ byly do hloubky 60 m vyhloubeny 4 strukturální vrty pro stanovení geologického profilu v předpokládané zóně ovlivnění napjatosti masivu tunelovým dílem a odebrány vzorky pro následné laboratorní zkoušky. Na základě současných i dřívějších sondážních prací a provedených geofyzikálních měření byly v ose projektovaných tunelů sestaveny inženýrskogeologické řezy (obr. 4 a 5).

Součástí průzkumných prací na povrchu území bylo povrchové geofyzikální měření zaměřené na doplnění znalostí získaných vrtným průzkumem. Pro měření byly použity metody: vertikální elektrické sondování (VES) a mělká refrakční seismika (MRS). Měření bylo uspořádáno do dvou podélných profilů vedených nad osami tunelů a příčných profilů situovaných do ulic je protínajících. K upřesnění litologického profilu vrtů, stanovení geotechnických parametrů hornin a zjištění hydrogeologických poměrů ve vrtech bylo využito karotážní měření a seismické prozařování mezi vrtem a povrchem pomocí seismické tomografie s křivými drahami seismických paprsků.

## 5. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY LOKALITY

Zájmové území projektované dvojice tunelů náleží do oblasti rozšíření mořského neogénu karpatské předhlubně, který zde dosahuje mocnosti několika stovek metrů. Sedimenty nasedají přímo na horniny brněnského masivu.

Značná část průzkumem pokrytého území je zastavěna, převažující část volných ploch je pokryta navážkami, popřípadě konstrukčními vrstvami komunikací. Reliéf terénu, který je v celém nadloží průzkumných štol mírně ukloněný v jednotném sklonu, je v západní části území přetvořen silniční výstavbou, zejména mimoúrovňovou křižovatkou ulic Hradecké a Žabovřeské (navazující části VMO).

Přírozený povrch terénu představují sprašové hlíny ukládané eolickou činností během pleistocénu. V této poloze se vyskytují několikadecimetrové tmavohnědé polohy představující fosilní půdní horizonty. Jílovité hlíny a jíly v podloží spraší mají zpravidla smíšenou eolicko-deluviální genezi. Jedná se o srážkovými vodami přeplavený materiál starší generace sprašových pokryvů a zvětralín neogenních jílu s obsahem zvětralých zaoblených úlomků cívčarů a místy s příměsí drobných šterkových zrnek.

Báze kvartérního pokryvu je zastoupena šterkovitými sedimenty, velmi často hlinitými či zajiřovanými. Šterkovité uloženiny mají plošné rozšíření na bázi kvartéru, jejich výskyt však není zcela souvislý. Podle předpokladu vycházejícího z předchozích etap průzkumu byla největší mocnost šterkového souvrství zdokumentována pod ulicí Vodova a v přímkyjícím se areálu městského koupaliště Dobrák. V tomto prostoru se nejvíce přibližuje kalota projektovaného tunelu k šterkové poloze. Tunelová trouba bude mít v tomto prostoru pouze 1,0 – 2,5 metru nadloží neogenních jílu, k zasažení polohy šterků ražbou by však dojít nemělo.

Předkvartérní podloží je v celém zájmovém území budováno horninami neogenního (miocenního) spodnobádenského stáří. Z hlediska inženýrskogeologického se jedná o vápnitý, značně prachovitý jíl. Na vzorcích jílu byly v rámci průzkumných prací provedeny mineralogické analýzy, a to RTG difrakční analýzy, zrnitostní analýzy, stanovení organického, minerálního uhlíku a síry a silikátové analýzy. Výsledky prokázaly, že se jedná o převážně jílovitý prach (popř. prachovec). Z hlediska rizika deformací je nejdůležitější přítomnost expandujících jílových minerálů kvůli jejich schopnosti bobtnat a smršťovat se. Čerstvá hornina má nazelenale šedou barvu, v přípovrchové zóně bývá zbarvena žlutohnědě či rezavohnědě. Skvrnitost, popř. smouhování jílu vzniká následkem pronikání limoniticky zbarvených roztoků systémem trhlinek v navětralém a tektonicky porušeném horninovém prostředí. Průzkumnými pracemi bylo zjištěno, že jíly jsou značně tektonicky postižené, místy v zónách až několik desítek metrů mocných. Mají hrubě blokovitý až nepravidelně drobně úlomkovitý rozpad, často s radiálně paprskovitými strukturami na lomu, který je nerovný, miskovitě prohnutý. Významnější tektonické plochy jsou vyleštěné, rýhované ve směru pohybu a značně zvlněné.

Podzemní voda zájmové oblasti je vázána především na výskyt kvartérních fluvialních sedimentů ve formě šterkovitých až šterkopisčitých uloženin, které vytvářejí velmi dobré podmínky pro vznik, transport a akumulaci podzemní vody. Přestože ve větší části průzkumných děl byly ověřeny zvodnělé kvartérní fluvialní sedimenty, zastížené kolektory nejsou průběžné. Lze je pokládat za plošně omezené čočky propustných sedimentů. Tyto zvodnělé polohy jsou uzavřené v relativně nepropustných kvartérních jílovitých hlinách, případně vyplňují lokální deprese zvlněného povrchu neogenního podloží. Podzemní voda má tedy charakter především statických zásob. Spojitá hladina zde neexistuje, jedná se o nespojitě zvodnělé lokálního charakteru. Hladina podzemní vody ve vrtech reaguje na atmosférické srážky velmi pozvolna, k její oscilaci dochází v průběhu roku v řádech centimetrů.

## 4. METHODS OF THE ENGINEERING-GEOLOGICAL EXPLORATION

The concept of engineering-geological exploration was selected so that exploratory works realized from the surface would be coordinated with the activities underground. A total of 22 core bores was bored in line of these designed tunnels. Bore depths ranged between 8,0 and 20,0 meters. It was the task of the probing works to submit information about the Quaternary area covering and the level of underlay surface formed by Neogene clay. Engineering-geological bores were designed to reliably uncover cross section of the tunnel overburden and at the same time not interfere with free area of the future tunnels. Selected bores were equipped for observation of groundwater level oscillation. Groups of five bores for geotechnical measurements and monitoring were bored in places of the so-called concentrated exploration. It included bores for one-time measurements of attributes of the Neogene massif, and also bores observing behavior of the massif in time during excavation of the exploratory galleries. Within the frame of these bore "nests", four 60 m deep structure bores for determination of the geological profile in the estimated zone of impact of the tunnel structure on state of stress in the massif were carried out and samples for consequent laboratory tests collected. Based on current as well as previous probing works and realized geophysical measurements, engineering-geological cross sections were indexed in axis of the designed tunnels (Fig. 4 and 5).

Surface geophysical measurement, focused on widening of knowledge gained from the boring exploration, was part of the surface exploratory works. The methods of vertical electric probing (VES) and shallow refraction seismic (SRS) were used for measurement. The measurement was arranged in two axial cross sections conducted above the tunnel axes and in lateral cross sections located along streets that were crossing them. Borehole survey and seismic radiation between the bore and surface using seismic tomography with oblique tracks of seismic rays were used to accurately determine lithospheric cross section of the bores, geotechnical parameters of the rocks as well as hydrogeological conditions in the bores.

## 5. ENGINEERING-GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE LOCALITY

Given area of the designed pair of tunnels belongs to the expanded pelagic Neogene of Carpathian fore-trough, which in this case reaches several hundred meters deep. Sediments lay directly on rocks of the Brno massif.

Significant area of the target for exploration is urbanized, predominant part of the free areas is covered with fills, or eventually with road structure layers. Terrain surface, which is slightly aligned in uniform gradient in the entire overburden of the exploratory galleries, is in its western section formed by mostly road-type structures, namely cloverleaf crossroad of the streets Hradecká and Žabovřeská (connecting part of the LCRR).

Natural cover of the terrain surface is represented by loess loams, sedimented by eolic activity during Pleistocene. This layer experiences several decimeters thick dark-brown layers representing fossil soil horizons. Clayey loams and clays in the overburden of loess commonly have a mixed eolic – diluvial origin. They are by rainwater re-deposited materials of older generation of loess covers and erosions of Neogene clays with content of weathered rounded fragments of rocks and locally with some tiny gravel grains.

Basis of the Quaternary cover is represented by gravel sediments, very often full of loam and clay. Gravel sediments are areally spreading on the Quaternary basis, their occurrence is nevertheless not continuous. According to the expectation arising from previous phases of exploration, the largest thickness of the gravel strata was documented below Vodova street and within adjacent area of the municipal bathing pool Dobrák. In this area, calotte of the designed tunnel closest to the gravel lay. The tunnel tube will have here only 1,0 – 2,5 m of Neogene clays in the overburden, yet the gravel layer should not be encountered by the excavation.

PreQuaternary underlay is in the entire given area formed by rocks of Neogene (Miocene) lower Badenian age. From the engineering-geological point of view it is limey, largely silty clay. Mineralogical analyses were performed on samples of clay during the exploratory works, namely X-ray diffraction analyses, grain analyses, determination of organic, mineral carbon and sulfur and silicate analyses. The results proved that the material is mainly clayey silt (eventually siltstone). Considering the risk of deformations there is the most vital presence of expanding clayey minerals due to their ability to swell and contract. Newer rock has a greenish-gray color, near the surface it is colored yellow-brown to reddish-brown. Patches or smudges of the clay occur as a result of penetration of the limonitically colored solutions through a system of tiny fractures in the weathered and tectonically faulted rock environment. Exploratory works revealed that the clays are heavily tectonically faulted, locally in zones up to several tens of meters thick. They have a blocky to irregularly fragmenting disintegration, commonly with radial structures at the fracture, which is uneven, bowl-curved. More significant tectonic areas are rubbed, grooved in the direction of movement and highly undulated.

Groundwater in the given area is mostly bound to the occurrence of Quaternary fluvial sediments in the form of gravel to sand-gravel sediments, which create very good conditions for the origin, transport and accumulation of groundwater. Despite the fact that large proportion of the exploratory works verified watered Quaternary fluvial sediments, encountered collectors are not continuous. They can be con-

## 6. GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI HORNIN A HORNINOVÉHO MASÍVU

Vlastnosti horninového masívu, v němž jsou projektovány tunelové trouby tunelu Dobrovského, a zemin tento masív budujících byly stanoveny zhodnocením výsledků řady laboratorních zkoušek vzorků odebraných z vrtů i podzemních výrubů a polních zkoušek realizovaných převážně v podzemí, v menší míře z povrchu ve vrtech. Vyšetřování geotechnických vlastností se uskutečnilo ve zmíněných čtyřech místech soustředěného průzkumu, která charakterizovala příslušné kvazihomogenní celky, do nichž byl vyšetřovaný prostor tunelu rozdělen. Vlastnosti pokryvných útvarů byly navíc zjišťovány i mimo uvedená místa soustředěného průzkumu na vzorcích odebraných z vrtů situovaných po celé délce obou tunelových trub.

Laboratorními zkouškami byly zjišťovány vlastnosti materiálů budujících horninový masív, a to na porušených vzorcích běžné indexové vlastnosti, na neporušených vzorcích navíc objemová hmotnost v původním stavu a po vysušení, propustnost, hustota pevných částic, totální i efektivní parametry smykové pevnosti a oedometrické moduly v závislosti na normálním napětí, bobtnavost, bobtnací tlaky i smršťovitost. Vzhledem k tomu, že v každém místě soustředěného průzkumu byl vyhlouben jeden strukturální vrt do hloubky 60 m, bylo možno vysledovat průběh měnících se vlastností v jílovém masívu nejen po délce štol, ale i směrem do hloubky. Na obr. 6 jsou graficky znázorněny závislosti modulů přetvárnosti na hloubce pod povrchem stanovené přepočtem z naměřených oedometrických modulů v oboru napětí odpovídajícímu přirozenému svislému napětí panujícímu v hloubce odběru příslušného vzorku.

Polní zkoušky byly zaměřeny na zjištění vlastností masívu neogenních jílu. Podle účelu byly zkoušky rozděleny do 5 skupin: zkoušky přetvárnosti masívu, pevnostní zkoušky, zkoušky napjatosti celkem 6 stanovení deformacních modulů – modulů přetvárnosti a pružnosti, vždy po dvou ve všech třech navzájem kolmých směrech, tj. ve směru vodorovném souhlasném se směrem štol II B v místech příslušné rozrážky, ve směru vodorovném kolmém k ose štol II A a ve směru svislém. Celkem bylo provedeno 24 stanovení těchto charakteristik. Pro zkoušky byly použity tuhé čtvercové zatěžovací desky o straně 0,5 m stupňovitě zatěžované do maximálního průměrného kontaktního napětí 0,5 MPa a následně odlehčovány na nulovou hodnotu v celkem dvou cyklech. Moduly přetvárnosti byly stanoveny z větve prvotního přítěžování, moduly pružnosti z obou odlehčovacích větví zkoušky.

Do první skupiny náleží především zkoušky zatěžovací, jež byly umístěny do rozrážek ražených ze směrné chodby štol II B v místech soustředěného průzkumu. V každé rozrážce se uskutečnilo celkem 6 stanovení deformacních modulů – modulů přetvárnosti a pružnosti, vždy po dvou ve všech třech navzájem kolmých směrech, tj. ve směru vodorovném souhlasném se směrem štol II B v místech příslušné rozrážky, ve směru vodorovném kolmém k ose štol II A a ve směru svislém. Celkem bylo provedeno 24 stanovení těchto charakteristik. Pro zkoušky byly použity tuhé čtvercové zatěžovací desky o straně 0,5 m stupňovitě zatěžované do maximálního průměrného kontaktního napětí 0,5 MPa a následně odlehčovány na nulovou hodnotu v celkem dvou cyklech. Moduly přetvárnosti byly stanoveny z větve prvotního přítěžování, moduly pružnosti z obou odlehčovacích větví zkoušky.

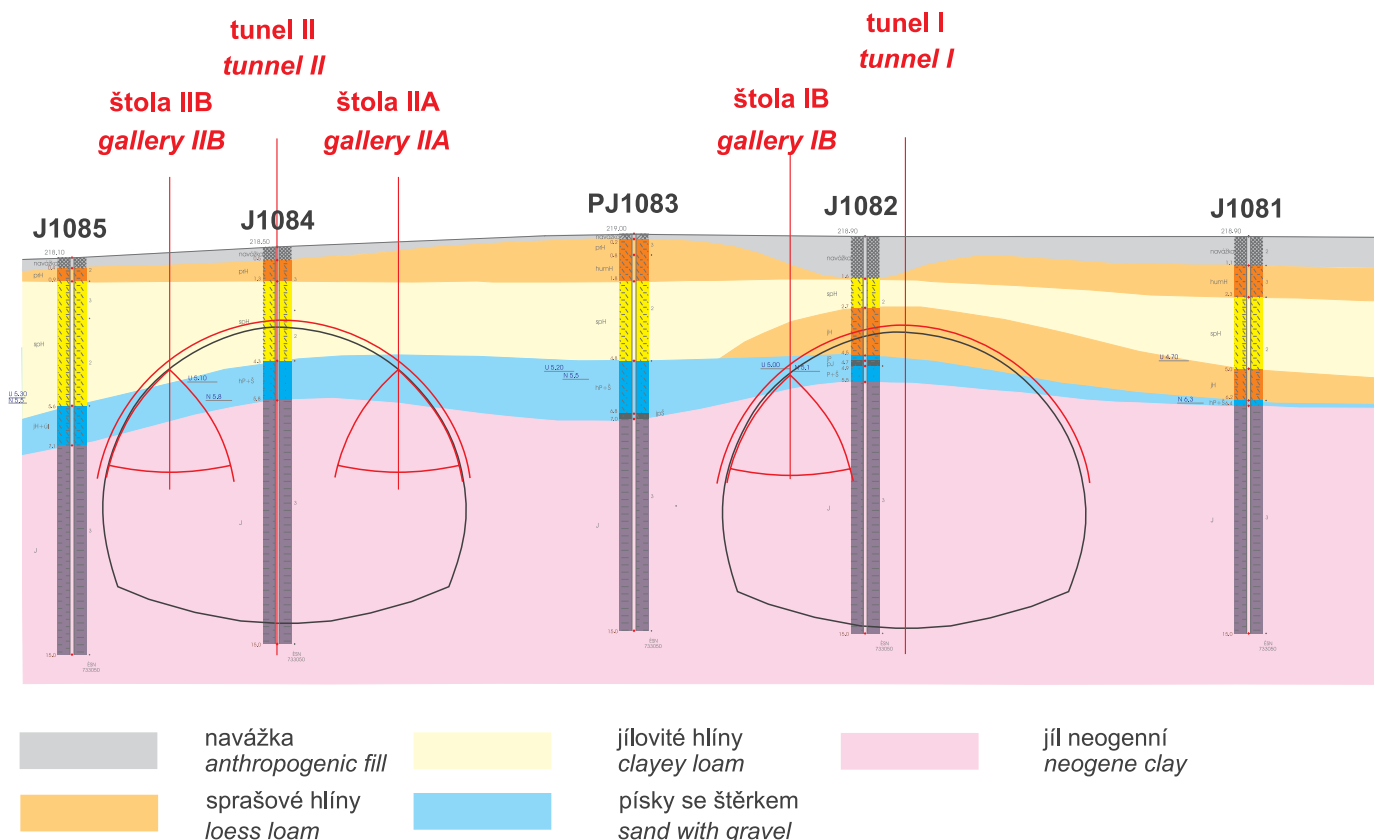
sidered as areally limited lentils of permeable sediments. These watered layers are encased in relatively non-permeable Quaternary clayey loams, alternatively they fill in local depressions of undulated surface of the Neogene overburden. The groundwater is thus of mostly static resource character. There is no continuous water level, but rather discontinuous local waterings. Groundwater level in bores slowly reacts to atmospheric rainfall, throughout the year and it oscillates within centimeters.

## 6. GEOTECHNICAL ATTRIBUTES OF ROCKS AND ROCK MASSIF

Attributes of the rock massif, in which tubes of the Dobrovského tunnels are designed, as well as attributes of soils that form this massif were determined based on evaluation of results of several laboratory tests of samples, collected from bores and underground openings, and field tests, realized mainly underground, in lower scale also at the surface in bores. Analysis of the geotechnical attributes proceeded in the aforementioned four locations of concentrated exploration that characterized correspondent quasi-homogeneous units, into which was the analyzed tunnel area divided. Attributes of the covering formations were further explored outside these locations of concentrated exploration using samples collected from bores located along the entire length of both tunnel tubes.

Laboratory tests analyzed the attributes of rocks of the rock massif, among those common index attributes on disturbed samples, on undisturbed samples volume weight in the original condition and after drying-out also permeability, density of the solid particles, total and effective parameters of the shear strength, oedometric modules based on normal stress, swelling, swelling pressures and contractibility. With regards to the fact that each location of the concentrated exploration included one 60 m deep structure bore, it was possible to observe the process of modification of attributes in the clay massif not only along the gallery lengths, but also in the vertical direction. Fig. 6 graphically illustrates regression of the modules of transformation on depth below surface, determined by calculation from the measured oedometric modules in the aggregate of tensions corresponding to the natural vertical tension that prevails in the depth of collection of that particular sample. Field tests were focused on analysis of attributes of the Neogene clay massive. Based on their purpose, they were divided into five groups: tests of the massif deformability, strength tests, tests of the massif stress, tests of the massif permeability and technological tests. Moreover, results and evaluation of the penetration probes were assorted with field determination of the geotechnical attributes.

The first group includes mostly loading tests, which were located into test galleries excavated from axial corridor of the II B gallery in locations of the concentrated exploration. Determination of a total of 6 deformation modules was realized in each test gallery – modules of transformation and flexibility, always in pairs in all three mutually perpendicular directions, i.e. in the horizontal concurrent direction



Obr. 4 Příčný geologický řez v místě provizorního portálu Královo Pole  
Fig. 4 Geological cross-section in area of the temporary portal Královo Pole



Kromě toho měření deformability masívu proběhlo ve vrtech hloubených z povrchu pomocí presiometru, a to až do hloubek 40 m pod povrchem. Presiometrická měření uskutečnili pracovníci SG-Geotechniky Praha. Výsledkem této činnosti bylo stanovení presiometrických modulů v závislosti na hloubce pod povrchem. Ve srovnání s výsledky laboratorních zkoušek tato měření určila moduly v jednom případě velmi blízké hodnotám modulů přetvárnosti stanoveným na základě laboratorních zkoušek (v místě soustředěného průzkumu v prostoru mezi ulicemi Palackého a Poděbradova), v ostatních místech byly naměřené hodnoty celkově vyšší, přičemž vykazovaly poměrně velký rozptyl.

Druhá skupina představuje zkoušky smykové s předurčenou plochou porušení při působení tangenciální (smykové) síly ve směrech orientovaných obdobně jako u zatěžovacích zkoušek – rovnoběžně s osou štoly IIB a kolmo k ní ve vodorovném a svislém směru (obr. 7). Celkem se uskutečnilo 34 zkoušek. Zkoušky se uskutečnily na blocích 50 x 50 x 30 cm, které byly připraveny zatlakováním ocelových rámu do zkoušeného prostředí a postupným odstraňováním okolního jílového materiálu. Čtyři bloky tvořily jednu sérii, v níž každý blok byl namáhán jinou kombinací normálního a tangenciálního napětí až do odloučení bloku usmyknutím v jeho základně. Z velikostí napětí v různých fázích zkoušek jedné série byly pak stanoveny čáry meze kluzu, vrcholové pevnosti a pevnosti reziduální jako regresní přímky v grafu závislosti smykového napětí na napětí normálním – viz obr. 8.

Měření napjatosti masívu (třetí skupina) představuje nejobtížnější a nejméně zvládnutou problematiku mechaniky hornin, zejména v podmínkách podzemních výrubů. Velikosti a směry napětí působící v masívu neogenních jílu byly měřeny třemi způsoby, z nichž žádný nebyl dříve v obdobném horninovém prostředí uplatněn. Měření napjatosti mělo proto pokusný charakter. Byly použity metody Hydrofrac, při nichž se zjišťuje horizontální napjatost sondou ve vrtu rozpínaným tlakem kapalného média do porušení jeho stěn, dále metoda stanovení napjatosti na základě měření konvergence kruhového výrubu během jeho ražby a konečně byla měřena napjatost sondou ve vrtech sledující svíravý účinek plastických jílu.

Metoda Hydrofrac byla vyvinuta pro měření napjatosti masívu pevných skalních hornin, v masívu jílu byla použita poprvé na této lokalitě. Metoda umožňuje určení velikostí a směrů hlavních napětí v rovinách kolmých k ose vrtu, do něhož se zasouvá měřicí zařízení. Touto metodou lze měřit napjatost v různých úrovních. Na zdejší lokalitě byla aplikována Ústavem geoniky ČAV Ostrava ve třech vrtech hloubených z povrchu situovaných v místech soustředěného průzkumu. Tato metoda se však ukázala nevhodná pro použití v masívu plastických jílu.

Naopak velmi dobré výsledky byly získány měřením napjatosti konvergenční metodou (obr. 9), ačkoli se jedná o metodu nepřímou určující velikosti a směry napětí

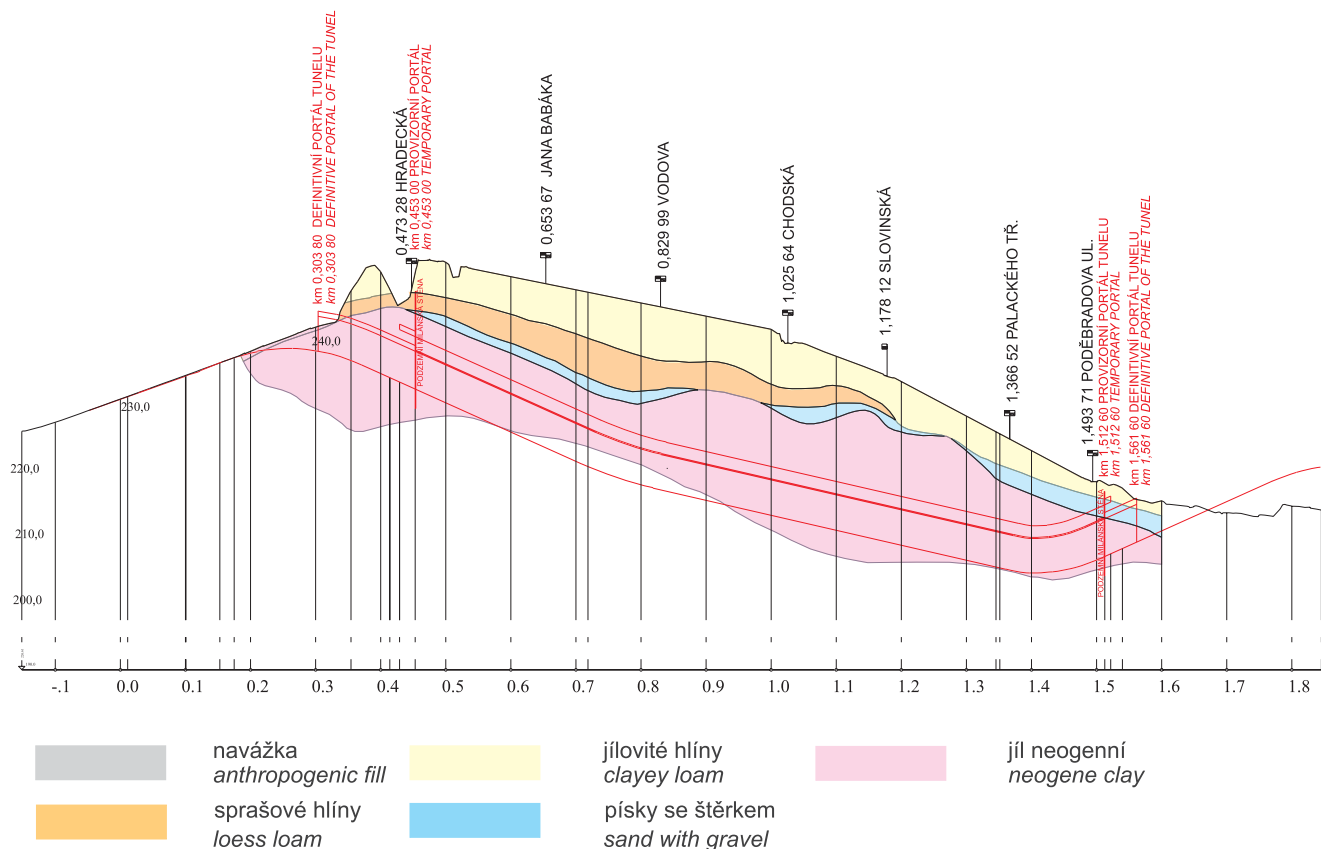
of the IIB gallery in location of the given test gallery, in the horizontal direction perpendicular to the gallery axis and the vertical direction. Altogether, 24 determinations of these characteristics were carried out. The tests were realized using tough 0,5 m square loading plates, gradually loaded up to the maximum average contact tension of 0,5 MPa and subsequently relieved to zero in two phases. The modules of transformation were determined from the phase of initial loading, modules of flexibility then from both relieving phases of the test.

On top of that, measurements of deformability proceeded in bores that were carried out from the surface using pressiometer up to depths of 40 m below surface. Presiometric measurements were realized by employees of SG-Geotechnika Praha. Based on results of this activity, pressiometric modules and their regression on depth were determined. In comparison with results of the laboratory tests, these measurements in one case determined modules very close to the values of deformation modules that derived from laboratory tests (in location of the concentrated exploration in area between the streets Palackého and Poděbradova), in other cases the measured values were generally higher while showing a relatively large variance.

The second group is represented by shear tests with predetermined area of faulting under the influence of tangential (shear) force in similar directions as for the loading tests – parallelly with axis of the IIB gallery, in perpendicular horizontal direction and vertical direction (Fig. 7). Altogether, 34 tests were performed. The tests were performed on 50 x 50 x 30 cm blocks, which had been prepared pressing the steel frames into tested environment and by gradual removal of the surrounding clay material. Four blocks formed one set, in which each block was loaded with a different combination of normal and tangential tension up to disconnection of the block by shearing of its basis. Values of tension in various phases of the tests for one set then allowed to determine the linear margins of shearing, vertical strength and residual strength in form of linear regression in a regressive model of shear tension on the normal tension – see Fig. 8.

Measurement of the massif stress (third group) represents the most complicated and least mastered part of rock mechanics, especially in the conditions of underground openings. Sizes and directions of stresses that occur in the massif of Neogene clays were measured by three methods, none of which had been before applied in similar rock environment. Therefore, the stress measurement had a rather experimental nature. The methods used included Hydrofrac, when the horizontal stress is measured by a probe inside of a bore that is expanded into its faulted walls by pressure of a liquid medium, then the method of tension determination based on measurement of convergence of the circular opening during its excavation and finally the stress measurement by probe inside of bores that observed contracting effect of the plastic clays.

The Hydrofrac method was developed for stress measurement of massif with solid



Obr. 5 Podélný geologický řez v ose tunelu

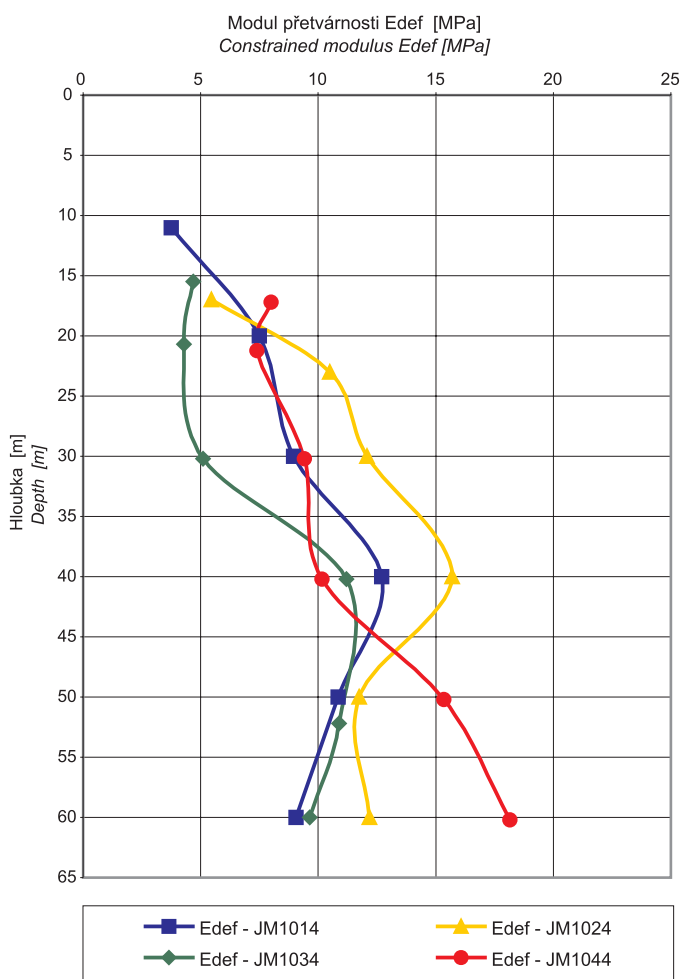
Fig. 5 Geological longitudinal section through the axis of the tunnel

výpočtem z naměřených hodnot jiné veličiny – deformací výrubu kruhového profilu během jeho ražby (obr. 10). Tato metoda byla použita ve všech rozrážkách v obou jejich částech – v částech kolmých k ose štoly IIB a v částech zalomených, které byly raženy ve směrech rovnoběžných s touto osou.

Tímto měřením byly získány velikosti normálních a smykových napětí ve všíslém a vodorovném směru v rovinách kolmých k osám výrubů, z nichž dále byly výpočtem stanoveny velikosti a směry napětí působících v těchto rovinách a konečně odečtením napětí vyvolaném tíhou sloupce zemin, jehož výška byla dána vzdáleností osy výrubu od povrchu, velikosti a směry reziduálního napětí působícího v masívu před vyražením podzemního díla. Měření ukázalo, že v masívu působí vodorovné reziduální napětí, jež ve směru kolmém k ose tunelu má téměř konstantní hodnotu pohybující se s minimálními odchylkami kolem 80 kPa s výjimkou jednoho krátkého úseku v prostoru pod ulicí Vodovou, kde bylo zjištěno enormní zvýšení hodnoty tohoto napětí téměř na pětinašobek. V podélném směru napětí v krajních úsecích bylo naměřeno mírně sníženou hodnotou (60 kPa), která ve středních úsecích se zvýšila na trojnásobek. Existenci reziduálního napětí lze přičíst prekonsolidaci jílu původně vysokým, dnes oddenudovaným nadložím (dosahujícím až 80 m nad dnešní terén), jeho zvýšení ve střední části pravděpodobně existenci zlomové linie. Velikost napětí naměřených ve střední části zkoumaného území (v rozrážce R2 poblíž projektovaného technologického centra) ukazují elipsy napjatosti na obr. 11.

Metoda měření napjatosti sondou svěrometr je metodou přímou, která využívá reologických vlastností jílu projevujících se ve svírání vyvrtaných otvorů. Jedná se o zkoušku vcelku jednoduchou, avšak časově velmi náročnou, proto toto měření mohlo být z časových důvodů uskutečněno pouze ve dvou rozrážkách. Měřicí zařízení bylo vyvinuto pro měření na této lokalitě, mělo proto pokusný charakter. Přesto dosažené výsledky ukázaly, že použití tohoto způsobu měření napjatosti lze hodnotit jako úspěšné. Touto metodou lze stanovit napjatosti v rovinách kolmých k ose zkušebního vrtu a lze stanovit i velikosti a směry reziduálních napětí obdobně jako u konvergenční metody. Navíc tato metoda umožňuje měření v různých úrovních v závislosti na délce zkušebního vrtu.

Do čtvrté skupiny polních zkoušek a měření náleží měření propustnosti horninového masívu vsakovací metodou pomocí Hornova propustoměru, jež proběhlo ve všech rozrážkách, do jejichž počev byl po úpravě výrubu po ukončení zatěžovacích

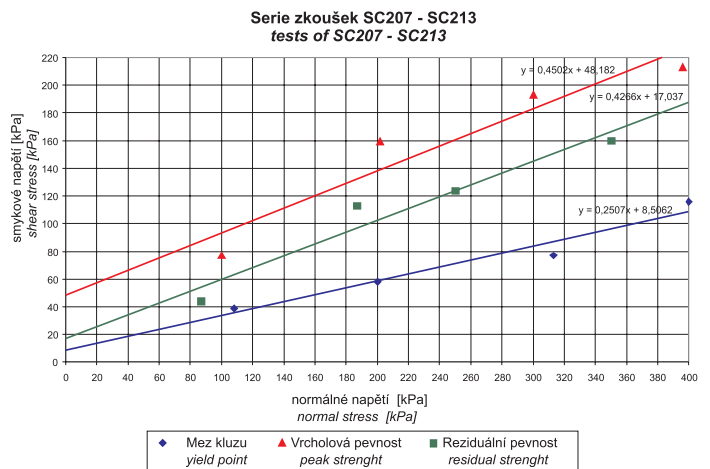


Obr. 6 Závislost deformačních modulů jílu na hloubce  
Fig. 6 Relation of the constrained moduli into depth

semi-rock, in this locality it was used for the first time in a clay massif. The method allows to determine sizes and directions of main stresses in planes perpendicular to the axis of bore, into which the measuring device is inserted. Such method of measurement can be applied in various levels. In this locality, it was applied by the Institute of Geonics by ČAV Ostrava in three bores, bored from the surface and located in places of the concentrated exploration. This method, however, proved unsuitable for use in a clay massif.

On the contrary, very good results were achieved by stress measurement using the convergence method (Fig. 9), although this is an indirect method that determines sizes and directions of tension by calculation from measured values of other factor – deformations of the circular opening during its excavation (Fig. 10). This method was used in all test galleries in their both parts – in parts perpendicular to axis of the IIB gallery and those curved, which had been excavated in parallel directions with this axis.

This measurement submitted the sizes of normal and shear stresses in vertical and horizontal direction in surfaces perpendicular to axes of the cuts, out of which the sizes and directions of tensions that exist in these surfaces were determined and finally calculated by subtraction of the stress evoked by weight of the soil column, whose height was given by distance of axis of the excavation from surface, subtraction of sizes and directions of the residual stress that existed in the massif prior to excavation of the underground work. The measurement showed that there is a horizontal residual tension, which is, in perpendicular direction to the tunnel axis, almost constant at 80 kPa with only minimal deviations with the exception of one short section in area below Vodova street, where an enormous five-fold increase of value of this tension was discovered. In the axial direction, tension in end sections was measured with slightly reduced values (60 kPa), which increased three-fold in the middle sections. Existence of the residual stress can be attributed to preconsolidation of clays by originally high, now denudated overburden (reaching up to 80 m above the current surface); its elevation in the middle section probably to an existence of faulting line. For sizes of tension measured in middle section of the explored area (in test gallery R2 near the designed technological center) see ellipses of tension on Fig. 11.



Obr. 8 Pevnostní čáry horniny (neogenní jíl) v rozrážce R2  
Fig. 8 Strength lines of rock (neogene clay) in the test gallery R2

The method of stress measurement using contraction-meter probe is a direct method, which uses geological attributes of clays that become expressed in contractions of bored holes. It is a generally simple test, yet a very time-demanding one, and therefore due to time reasons the measurement could be realized only in two test galleries. The measuring device was developed for measurement in this locality, and therefore had an experimental nature. Nevertheless, achieved results proved that use of this method of stress measurement can be considered as successful. This method can determine stress in planes perpendicular to axis of trial bore as well as sizes and directions of residual stresses in the same way as with the convergence method. Moreover, this method enables measurements in different levels based on length of the trial bores.

Fourth group of the field tests measurements included measurements of permeability of the rock massif by infiltration method using the Horn permeameter, which proceeded in all test galleries, into whose floors was the permeability-meter located following adjustment of the cut after the loading and shear tests were completed. The used method of measurement uses the principle of measurement according to Maag, the Horn's device removes disadvantages of measurement of using the original method by its application in low permeable soils. The measurements proceeded for a long period of time, which also allowed to contemplate the possibilities of modifications of the clay massif permeability based on the duration of the open excavation in the floor. These measurements showed both permeability higher by two orders than laboratory-based values, and slight reduction in permeability based on the time of excavation opening. This reduction was larger at the beginning of observation.



Obr. 7 Příprava smykové zkoušky v rozrážce R1  
Fig. 7 Preparation of a shear test in the test gallery R1

a smykových zkoušek propustoměr umístěn. Použitý způsob měření využívá principu měření podle Maaga, přičemž Hornův přístroj odstraňuje nedostatky měření původní metodou při její aplikaci v málo propustných zeminách. Měření probíhala dlouhodobě, což umožnilo i posouzení možnosti změn propustnosti jílového masívu v závislosti na době otevření výrubu v počvě. Tato měření ukázala jednak propustnost celkově větší cca o 2 řády proti hodnotám stanoveným laboratorně, jednak mírný pokles propustnosti v závislosti na době otevření výrubu. Tento pokles byl výraznější na počátku sledování.

Pátá skupina – technologické zkoušky – obsahuje pouze tahové zkoušky kotev, které byly provedeny na dvou zkušebních polích ve stavební jámě. Cílem těchto zkoušek bylo vyšetření účinnosti a vlastností tyčových kotev v prostředí neogenních jílu. Úkol byl řešen ve dvou etapách – v první etapě bylo dodavatelem kotevních prvků CarboTech Bohemia instalováno celkem 12 kotev – 4 kotev typu SN, 2 sklolaminátových a 4 samozávrtných kotev TITAN, v druhé etapě po uskutečnění tahových zkoušek a. s. GEOTest Brno osazení 2 kotev typu SN a 2 kotev TITAN. Po odzkoušení kotev druhé etapy bylo možno vyhodnotit jako nejvýhodnější pro následnou stavbu tunelového díla samozávrtné kotvy TITAN. Penetrační sondy vyšetřovaly vlastnosti nadloží nerealizované štoly IIA ve spodní části Veleslavínovy ulice. Byly provedeny jako dynamické umožňující stanovení hodnoty modulu přetvárnosti a parametrů smykové pevnosti z počtu rázů beranu na zaražení měřicího trnu v určeném hloubkovém intervalu a z velikosti kroutícího momentu na soutyči. Byly zaměřeny na zjištění charakteristik kvartérních hornin a povrchové zóny masívu neogenních jílu.

## 7. GEOMONITORING

Nedílnou součástí průzkumných prací je rozsáhlý geotechnický monitoring, prováděný jak ve štolách, tak z povrchu území především v místech soustředěného průzkumu. V prostoru štoly IB (tunel I) byly vystrojeny 2 skupiny vrtů geotechnického monitoringu.

Do osy štoly byly situovány extenzometrické vrty sledující vertikální deformaci masívu ve 3 hloubkových úrovních v závislosti na vzdálenosti čelby štoly. Nulové měření bylo provedeno v dostatečném předstihu, tedy v době, kdy se blíží ražba v místě extenzometru ještě neprojevovala. Vlastní měření sestávalo jednak z manuálního změřeni oddálení kotev extenzometru od zhlaví a jednak z geodetického zaměřeni výšky tohoto zhlaví. Deformace nejspodnějších kotev osazených v úrovni 0,5 – 1,0 m nad špičkou kaloty dosahovaly po vyloučení poklesu terénu hodnot 5,0 – 29,5 mm v závislosti na geologii a blízkosti sousední štoly.

Ve vzdálenosti 1,0 – 1,5 m od ostění byly vyhloubeny vrty přesně inklinometrie sledující vertikální posuny masívu. Hloubky vrtů byly navrženy tak, aby byly měření postiženy ty partie horninového masívu, v nichž se předpokládají deformace v souvislosti s realizací nejen průzkumných štol, ale i budoucích tunelových trub.

Deformace inklinometrických vrtů dosahovaly po průchodu štoly a následném ukliďnění v úrovni podzemního díla hodnot v rozmezí 4,5 – 13,0 mm. Křivky vertikálního pohybu masívu prokázaly, že i v hloubce cca 23 metrů pod počvou štoly nejsou deformace zcela ukliďněné, což bylo patrné z křivek deformace vycházejících z pat vrtů.

V blízkosti ostění štoly byly vystrojeny vrty měřící změny pórových tlaků v závislosti na průchodu ražby. Snímače pórových tlaků byly do vrtů osazen v hloubce, ve které se při průchodu ražby nacházela počva průzkumné štoly. Z měření byl patrný výrazný pokles tlaků v pórech v okamžiku průchodu štoly až na méně než 10 kPa.

Hnízda vrtů geotechnického monitoringu zůstala zachována pro pozdější využití v rámci ražby plného profilu tunelových trub.



Obr. 9 Příprava měření napjatosti konvergenční metodou v kruhovém profilu rozrážky R2  
Fig. 9 Preparation of stress measuring by convergence method in the circular section of the test gallery R2

Fifth group – technological tests include only pulling tests of anchors, which had been realized in two trial fields in the construction cut. The aim of these tests was to analyze effectiveness and attributes of rod anchors in the environment of Neogene clays. The task was solved in two phases – the supplier of anchoring elements CarboTech Bohemia installed a total of 12 anchors in the first phase – 4 anchors of SN type, 2 glass-fibre and 4 self-boring anchors TITAN. In the second phase following completion of the pulling tests, GEOTest Brno, a.s. installed 2 anchors of SN type and 2 anchors TITAN. After testing of the second-phase anchors, it was possible to evaluate the self-boring anchors TITAN as the most suitable for subsequent construction of the underground work.

Penetration probes analyzed attributes of overburden of the never realized IIA gallery in lower part of Veleslavínova street. They were carried out as dynamic enabling determination of the value of deformation module as well as parameters of the shear strength from the number of hits of the ram needed for driving the measuring pike in given depths interval and from torque at the string of rods. They were focused on exploration of characteristics of the Quaternary rocks and surface zone of the Neogene clay massif.

## 7. GEOMONITORING

Extensive geotechnical monitoring, realized both in the galleries and from surface in locations of the concentrated exploration was an integral part of the exploratory works. Two groups of bores for geotechnical monitoring were installed in area of the IB gallery (tunnel I).

Extensometric bores, observing vertical deformation of the massif in three depth levels based on distance from the face, were located in the tunnel axis. Original measurement was realized sufficiently in advance, still in times when the approaching excavation had no impact on the extensometer. The own measurement consisted of both manual measurement of distance between the extensometer anchors and its head and geodetic measurement of height of this head. Deformations of the lowest anchors, installed in the level of 0,5 – 1,0 m above top of the calotte, after elimination of the terrain settlement reached values of 5,0 – 29,5 mm based on geology and vicinity of the adjacent gallery.

In distance of 1,0 – 1,5 m from the lining, bores for precise inclinometry were carried out to observe vertical movements of the massif. Bore depths were so designed for the measurement to encounter those parts of the rock massif where deformations are expected in connection with realization of the exploratory galleries, but also of the future tunnel tubes.

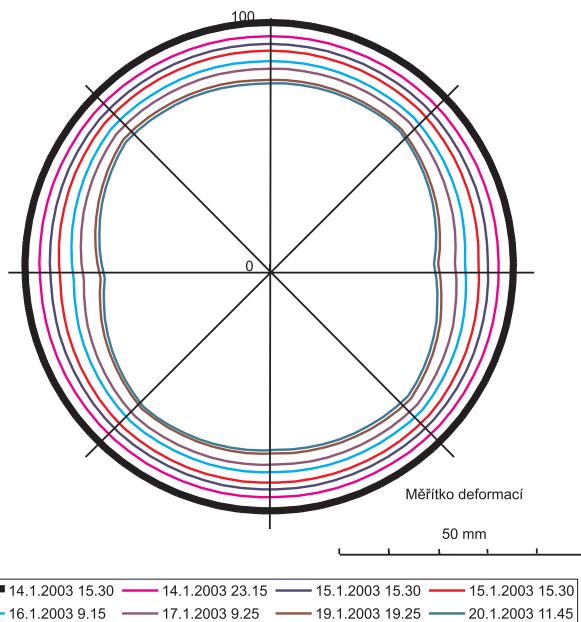
Deformations of the inclinometric bores reached, upon passage through the gallery and subsequent settling at the level of the underground work, values between 4,5 – 13,0 mm. Curves of vertical movement of the massif proved that even in the depth of 23 m below the gallery floor the deformations are not yet entirely settled, which was obvious from the curves of deformation running from bore bases.

Close to the gallery lining, three bores were installed to measure changes in pore pressures with regards to the passing excavation. Sensors of the pore pressures were installed in the bores in depth, where the floor of the exploratory gallery during the passing excavation was at the time. From the measurement there was an apparent large decrease of pore pressures at the time of the passing gallery to less than 10 kPa. Nests of bores for the geotechnical monitoring remained intact for future use within the frame of full-profile excavation of the tunnel tubes.

The aforementioned measurements, realized by employees of SG-Stavební Geologie Praha, a.s., meant to analyze behavior of the rock massif based on passing of the underground work. Frequency of measurement changed with approaching and retreating of face of the exploratory gallery to and from the measured bores.



Obr. 12 Geodetické sledování bodů konvergenčního profilu  
Fig. 12 Geodetic monitoring of points of a convergence section



Obr. 10 Deformace kruhového profilu rozrážky R2 v důsledku postupu její ražby  
Fig. 10 Deformation of circular section of the test gallery R2 in consequence of its excavation

Výše uvedená měření, jež uskutečnili pracovníci a. s. SG Stavební geologie Praha, měla za úkol postihnout chování horninového masivu v závislosti na průchodu podzemního díla. Četnost měření se měnila v závislosti na přibližování a posléze vzdalování čelby průzkumné štoly vůči měřenému vrtu.

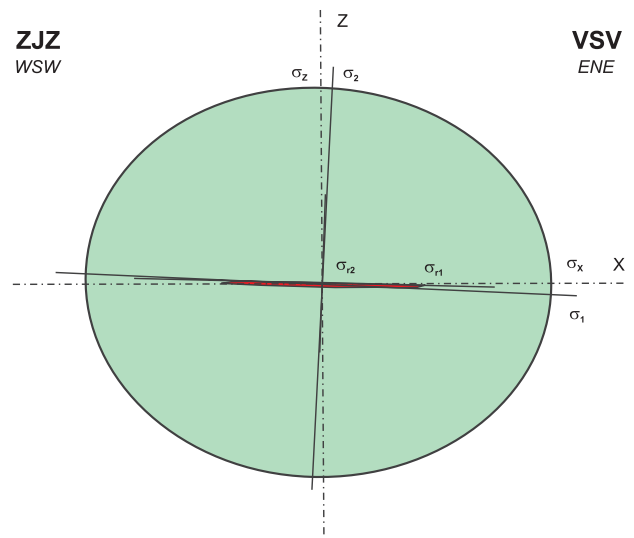
Z povrchu území byly sledovány velikost a tvar poklesové kotliny. Pomocí návrtů do hloubky 0,80 m byly stabilizovány body přesné nivelace, které tvoří síť profilů procházejících kolmo na osy štol. Byl měřen svislý pohyb bodů v závislosti na průchodu štol pod profily. Tato měření realizovala firma INSET, spol. s r. o.

Monitoring ve štolách byl zaměřen převážně na sledování deformací ostění a nivelaci. Po cca 150 m se osadily profily konvergence, které sledují vzájemný pohyb 3 bodů. Součástí monitoringu ve štolě bylo i niveláčnické měření bodů konvergenčních profilů a profilů stabilizovaných geodety stavby sloužících pro vedení díla. Hodnoty konvergence ostění byly naměřeny v rozmezí 20 – 40 mm, v extrémních případech daných např. nepříznivou geologií v úvodních partiích ražby až 85 mm. U niveláčnického měření ostění se pozornost zaměřila zejména na zvedání středu počvy (max. 35 mm) a zabořování pat důlní výztuže (cca 10 mm).

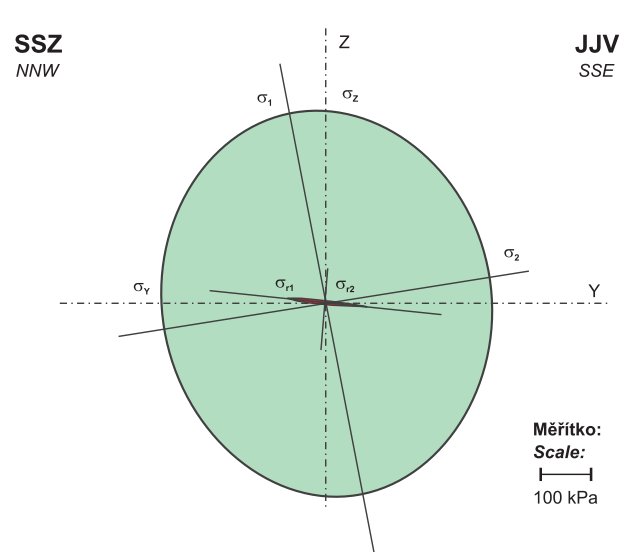
Ve 3 profilech byly za ostění osazeny měřidla tlaku na obezdívku – tzv. tlakové podušky. Podušky se osadily ve zvolených místech na kontakt mezi horninou a ostěním. Na měřidlech, která vykazovala relevantní hodnoty, byly zaznamenány nárůsty tlaku za obezdívku po ustálení v rozmezí 120 – 400 kPa. Konvergenční měření a měření tlaků na obezdívku bylo zadáno a. s. SG Geotechnika Praha, geodetická měření uskutečnili pracovníci měřického oddělení a. s. GEOTest Brno (obr. 12) a firmy IGM, spol. s r. o.

Z naměřených průběhů délkových změn sledovaných konvergenčním měřením a svislých pohybů zjišťovaných niveláčnickým měřením bylo možno stanovit průběh

V ROVINĚ SVISLÉ ROVNOBĚŽNÉ S OSOU ŠTOLY IIB  
PARALLEL PLANE WITH IIB GALLERY AXIS



V ROVINĚ SVISLÉ KOLMÉ K OSE ŠTOLY IIB  
NORMAL PLANE WITH IIB GALLERY AXIS



Obr. 11 Elipsy napjatosti v prostoru rozrážky R2  
Fig. 11 Ellipses of stress in the test gallery R2

Size and shape of the settlement trough were observed from surface. Bores into 0,80 m stabilized the points of precise leveling, which formed a network of profiles running perpendicularly to gallery axes. Vertical movement of points was measured based on the passing gallery below the profiles. These measurements were realized by INSET, s.r.o.

Monitoring in the galleries was mainly focused on the observation of deformations in lining and leveling. Convergence profiles, which observed the mutual movement of three points, were equipped every app. 150 m. Leveling measurements of convergence profile points and profiles stabilized by surveyors that serve for guidance of the work were also part of monitoring in the gallery. Values of lining convergence were measured between 20 – 40 mm, in extreme cases, for instance given by unfavorable geology in initial sections of the excavation, up to 85 mm. As for leveling measurement of the lining, attention was focused namely on heaving of center of the floor (35 mm max) and settlement of bases of the mining support frames (app. 10 mm).

Sensors of pressure on the lining were installed behind the lining in three profiles – the so-called pressure cells. The cells were installed at selected places as a contact between the rock and lining. The sensors, which submitted relevant values, recorded the increases of pressures behind the lining upon moderation between 120 – 400 kPa. Convergence measurements and measurements of pressures on the lining were commissioned by SG Geotechnika, a.s., geodetic measurements were carried out by employees of the measuring department of GEOTest Brno, a.s. (Fig. 12) and IGM s.r.o.

From the measured processes of length changes, observed by the convergence measurement, and vertical movements, analyzed by the leveling measurement, it was possible to determine the progress of these movements in future. During the

těchto pohybů i do budoucna. Při konvergenčním měření byla sledována sblíživání středů stěn a počvy – v následujících grafech (obr. 13) jsou sledované délky charakterizovány jako spojnice bodů označených HL – bod ve střední části výztuže levé stěny, HP – bod ve střední části výztuže pravé stěny a PS – bod ve středu výztuže počvy. Při nivelačním měření byly sledovány svislé pohyby kromě uvedených bodů též bodů v počvě na jejich okrajích. Z těchto měření byly dále výpočtem stanoveny průhyby počev (rozdíl naměřených posuvů středu počvy a průměru posuvů zjištěných na krajních bodech) a celkové pohyby profilu štol jako průměr naměřených pohybů středů výztužných prvků.

Jak bylo zjištěno, deformace po odeznění vlivů postupující ražby (po postupu čelby 5 – 15 m od měřeného profilu), resp. ražby sousední štolý se zpravidla ustalovaly podle exponenciály. Proto byly z výsledků měření stanoveny závislosti teoretických deformací na čase jako regresní křivky proložené body představujícími naměřené hodnoty v grafech závislosti deformací na čase. Koeficienty křivek a konečné deformace byly stanoveny výpočtem spočívajícím v postupném přibližování součinitele spolehlivosti výpočtu k hodnotě 1, což se v mnohých případech konvergenčního měření beze zbytku podařilo – naměřené hodnoty výpočtového intervalu ležely takto přímo na křivce teoretických deformací.

## 8. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ GEOTECHNICKÉHO PRŮZKUMU VE VZTAHU K VÝSTAVBĚ TUNELU

Jak ukázaly výsledky uskutečněné průzkumné činnosti, tunelové dílo bude prováděno v prostředí překonsolidovaných neogenních jílu se specifickými vlastnostmi, které je nutno respektovat jak při návrhu jeho dimenzí, tak i při technologii jeho provádění. Toto prostředí se vyznačuje poměrně malou pevností, velkou stlačitelností, pomalým dotvarováním a objemovými změnami při měnícím se obsahu vody.

Příznivou skutečností pro ražbu je velice malá propustnost jílového masívu, proto proudící podzemní voda bude nepříznivě ovlivňovat ražbu pouze v úsecích přilehlých k výjezdovému portálu, kde výrub bude zasahovat do kvartérních zemín. Nicméně jílový masív vodu obsahuje, tato se z masívu vylučuje při dlouhodobějším odlehčení výrubem nezabezpečeným nepropustným ostěním po celém obvodu. Popsaný jev byl pozorován ve většině zkušebních rozrážek i po délce štol, kde v patách ostění se v jejich lici objevovala zavlhlá místa.

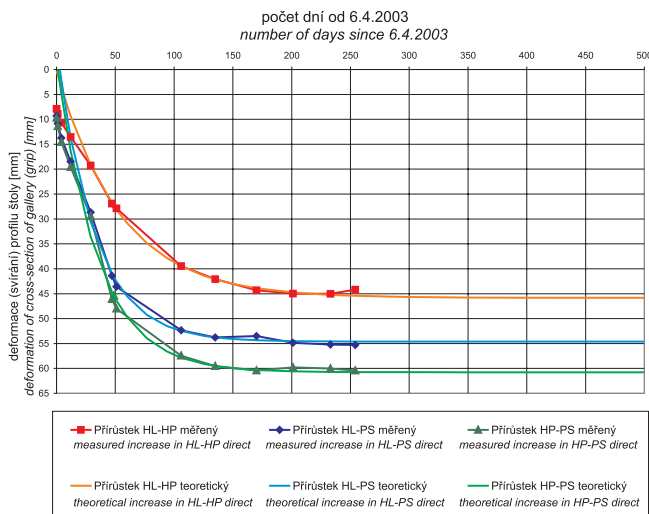
Průzkum ukázal, že v masívu jílu existují poměrně vysoká vodorovná reziduální napětí. Pro ražbu tunelových trub, u nichž převažují vodorovné rozměry nad svislými, existence zvýšených vodorovných napětí bude příznivá.

Geotechnické podmínky tedy vyžadují, aby výrub byl prováděn v co nejkratším čase a ihned byly opatřovány pro vodu nepropustným celoobvodovým ostěním. Rovněž organizační práce bude nutno přizpůsobit těmto geotechnickým podmínkám – bude nutno volit takové technologické postupy, které způsobují přerušování plynulé ražby v minimálním rozsahu.

Souběžně s ražbou bude nutno monitorovat chování horninového masívu, ostění výrubu i deformace povrchu území a zejména účinek ražby tunelových trub na zástavbu v poklesové kotlině a získané údaje ihned vyhodnocovat pro případné usměrňování realizace tunelového díla.

Podle projektového záměru, jenž předložil Amberg Engineering Brno, a. s., mají být tunelové trouby raženy vertikálně členěným výrubem rozděleným do 6 částí postupně na sebe navazujících podle schématu na obr. 14.

Části a a b jsou v prostoru tunelu II v délce 831 m již vyraženy – jedná se o průzkumné štolý IIA a IIB. V prostoru tunelu I je vyražena pouze část a v délce 365 m – štola IB.



Obr. 13 Průběh deformací konvergenčního profilu štolý ve štole IIB v km 0,860  
Fig. 13 Process of deformation of the convergence section in IIB gallery km 0,860

convergence measurement, approximation of wall centers and the floor were observed – the following charts (Fig. 13) show observed lengths characterized as lines between the points designated HL – point in central section of the left-wall reinforcement, HP – point in central section of the right-wall reinforcement and PS – point on the center of the floor reinforcement. During the leveling measurement, vertical movements were observed beside the previous points also in the floor points at its ends. From these measurements it was possible to calculate inflexions of the floors (difference between measured movements of the floors center and average movements at its ends) and total movements of the gallery profile as an average of measured movements of centers of the reinforcing elements.

It was discovered that upon diminution of impacts of the preceding excavation (advance of the face by 5 – 15 m from the measured profile), or of excavation of an adjacent gallery, deformations generally settled exponentially. Therefore, results of the measurements allowed to determine regression of the theoretical deformations on time as a regression model, interlaid with points representing measured values in charts of regression of the deformations on time. Coefficients of the curves and final curves were determined by calculation using step-by-step approximation of the reliability coefficient to one, which was the quite a few times the case for convergence measurement – measured values of the prediction interval thus lied directly on the curve of theoretical deformations.

## 8. EVALUATION OF RESULTS OF THE GEOTECHNICAL EXPLORATION IN RELATION TO TUNNEL CONSTRUCTION

As results of the realized exploratory activity showed, the tunnel structure will be realized in an environment of over-consolidated Neogene clays with specific attributes that need to be respected during the design of its dimensions as well as during the technology of realization. This environment is marked by relatively low strength, high contraction, slow creep and volume modifications due to changing water amount.

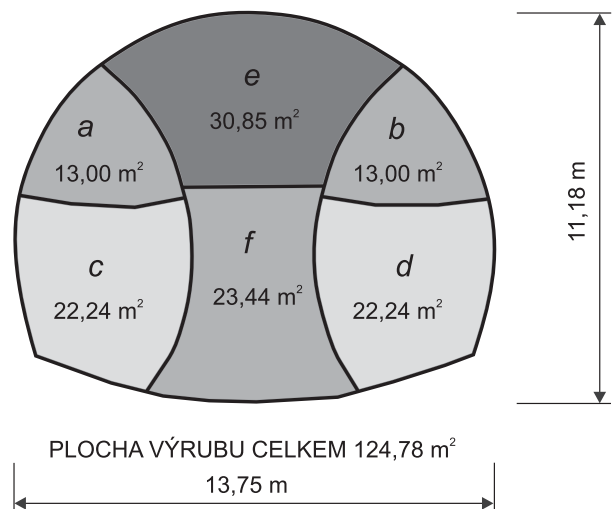
There is a very positive factor for the excavation in very low permeability of the clay massif, and therefore running groundwater will be unfavorably affecting the excavation only in sections adjacent to the exit portal, where the cut penetrates into Quaternary rocks. Nevertheless, the clay massif holds some water, which is discharged from the massif after longer disburdening by the excavation otherwise not secured by non-permeable lining along the entire periphery. The described phenomenon was observed in most test galleries as well as along those galleries where front bases of the lining experienced damp places.

Exploration proved that there are relatively high horizontal residual tensions in the clay massif. As for excavation of the tunnel tubes by which horizontal directions outweigh the vertical ones, occurrence of higher horizontal tensions will be an advantage.

Geotechnical conditions thus require for the excavation to be realized in shortest time possible and immediately equipped with non-permeable lining along the entire periphery. Moreover, organization of works will have to be adjusted to these geotechnical conditions – it will be necessary to select such technological procedures that would only minimally interrupt otherwise continuous excavation.

Along with the excavation, it will be necessary to monitor behavior of the rock massif, lining of the excavation and deformations from surface and especially the impact of excavation of the tunnel tubes on urban area in the settlement trough in order to immediately evaluate the acquired data for potential guidance of realization of the tunnel structure.

According to the design intent submitted by Amberg Engineering Brno, a.s., the tunnel tubes are to be excavated using vertical sequence, i.e. 6 partial faces according to Fig. 14.



Obr. 14 Projektované členění výrubu tunelové trouby  
Obr. 14 Design of tunnel tube excavation sequences

Na základě výsledků geotechnického průzkumu včetně souběžně probíhajícího monitoringu byla vydána následující doporučení pro technologický postup výstavby tunelového díla.

V prostoru tunelové trouby I je třeba nejprve vyrazit část označenou jako b (tj. nerealizovanou štolu IA) ve stejné délce jakou má dnešní štola IB – 365 m. Vzhledem k nízkému nadloží v úseku přiléhajícím k výjezdovému portálu bude nutno zajišťovat výrub stejným způsobem jako výrub štoly IB mikropilotovými deštníky v délce cca 50 m. Protože výrub zasáhne i do kvartérního souvrství, jehož spodní vrstvy tvoří nesouvislé zvodnělé štěrky a písky, vyvstává nebezpečí výronů vody. Po dosažení stejného staničení, které má dnešní čelba štoly IB, byla doporučena souběžná ražba obou částí a a b do dalších částí horninového masívu, kde geotechnické vlastnosti jsou pro ražbu těchto částí příznivé. Pouze při průchodu pásmem tektonického postižení existuje možnost vzniku určitých nadvylomů v důsledku prostoupení plochami diskontinuity odlučující jednotlivé kompaktní bloky pevných jííl. Vzhledem k dostatečné vzdálenosti obou tunelových trub bude je možno razit nezávisle na sobě. Nejzápadnější úseky částí I a II obou tunelových trub (v místech, kam nezasahovaly průzkumné štoly) bude nutno razit od západních provizorních portálů. Vzhledem ke snižujícímu se nadloží bylo i zde doporučeno zabezpečení výrubů ochrannými mikropilotovými deštníky.

Při ražbě těchto částí bude třeba monitorovat chování jílového masívu a sledovat deformace povrchu pro upřesnění prognózy konečných deformací v důsledku vyražení celého tunelového díla.

Po vyražení částí a a b bude následovat ražba částí c a d. Tyto části budou raženy v jílech prakticky stejných vlastností, jaké mají jíly, v nichž byly raženy části a a b (průzkumné štoly). Ražby těchto částí by neměly činit zvláštní potíže. Přesto vzhledem k charakteru jííl v úseku navazujícím na výjezdový portál (jíly mají tuhou konzistenci) bude zapotřebí jejich počvy zabezpečovat kotvením. Kotvení nebude nutně provádět souběžně s ražbou, postačí je realizovat po vyražení cca 30 m. O kotvení počvy v dalších geotechnických celcích bude možno rozhodnout až na základě výsledků monitoringu, zejména konvergenčního měření. Čelby těchto částí nebude nutno během souvislé ražby zabezpečovat, bude nutno je chránit pouze slabým nástříkem po vyražení jednotlivých záběrů obdobně jako při ražbě průzkumných štol. Zabezpečovat čelby bude nutně při přerušení ražby, tj. po doporučených úsecích délky 30 m. Ražba částí e – kalot tunelových trub představuje nejobtížnější fáze provádění tunelového díla, a to především pro největší šířky výrubů při relativně malém vzepětí a zhoršení geotechnických vlastností ve vyšších částech geologického profilu. Tyto části budou zejména v úsecích přilehlých k provizorním portálům výrazně zasahovat do kvartérního souvrství se všemi nepříznivými důsledky, které v podstatně menší míře postihují ražbu částí a a b. Bude proto nutno v těchto úsecích zabezpečovat výrub mikropilotovými deštníky nejlépe dvouvrstvými (tvořenými šikmými dovrchními mikropilotami s dlouhými přesahy). Zde bude rovněž vyžadovat ochranu i čelba, nejlépe kotvením a vrstvou stříkaného betonu. Deštníky z mikropilot bude vhodné provádět i při průchodu pásmem tektonického postižení jako ochranu proti vypadávání bloků kompaktních jííl odlučujících se podél ploch diskontinuity. Zahájení ražby částí e bylo doporučeno po vyražení cca 30 m částí c a d. Poněvadž ražba kaloty bude probíhat pomaleji než ražba částí c a d, její postup bude přerušován pouze přestávkami vynucenými prováděním mikropilot.

Části f výrubu tunelových trub budou vyžadovat řádné zabezpečení počvy kotvením a silnou vrstvou stříkaného betonu vzhledem nebezpečí jejího zvedání. Toto nebezpečí je akutní zejména v jílech v úseku při výjezdovém portálu pro jejich tuhou konzistenci. Kotvit počvy bude nutně i v ostatních celcích vzhledem ke značné sílce výrubu a malému vzepětí – je menší než u kaloty. Kotvení bude třeba provádět při každém záběru na rozdíl od provádění částí III a IV, v nichž bude možné realizovat toto zabezpečení po vyražení dalších úseků. Nutnost zabezpečení dílčích čelb vyplývá z rychlosti ražby těchto částí a zajišťování počev. Ražbu částí VI bude vhodné z technologických důvodů zahájit po vyražení cca 60 m kaloty, z geotechnického hlediska by bylo vhodné ji započít v co nejkratším odstupu po ražbě a zabezpečení kaloty.

Postup ražby členěným výrubem byl ověřen modelovým měřením, jež proběhlo na Ústavu geotechniky Fakulty stavební VUT Brno. Měření potvrdilo možnost uvedeného způsobu ražby a zároveň stanovilo vhodný krok postupu ražby na cca 1 m. Průzkumná a monitorovací činnost při ražbě průzkumných štol i vlastní jejich ražba prokázaly možnost realizace projektovaného tunelového díla a zároveň stanovily podmínky, za nichž je možno projektový záměr uskutečnit. Výsledky průzkumu mohou tedy sloužit pro návrh dimenzí tunelových trub i pro návrh technologického postupu jejich realizace.

## LITERATURA:

Podrobné výsledky průzkumné a monitorovací činnosti včetně metodiky jejich stanovení a doporučení pro další postupy jsou uvedeny v podkladu [1] kolektivní autorů a. s. GEOTest Brno obsahujícím i zprávy kooperujících organizací:

[1] Silnice I/42 Brno – VMO Dobrovského A, Průzkumné štoly. Podrobný geotechnický průzkum. Závěrečná zpráva. GEOTest Brno, a. s., 2003

[2] Silnice I/42 Brno – VMO Dobrovského A, Průzkumné štoly. Realizační dokumentace stavby. Amberg Engineering Brno, a. s., 2001/2002

Ing. Jiří Pavlík, CSc.

GEOTest Brno, a. s., Šmahova 112, 659 01 Brno

tel. 548 125 204, mobil 724 062 723, fax 545 217 979

831 m long sections a and b in area of the tunnel II are already excavated – these are exploratory galleries IIA and IIB. In area of the tunnel I, only the 365 m long a section is excavated – IB gallery.

Based on results of the geotechnical exploration including the simultaneously proceeding monitoring, the following recommendations were issued for technological procedures of construction of the tunnel structure :

In area of the tunnel I, it is first necessary to excavate the section designated as b (non-realized gallery IA) in the same length as the existing IB gallery – 365 m. With regards to low overburden in adjacent section of the exit portal, it will be necessary to secure the excavation in the same way as excavation of the IB gallery, using micropile umbrellas in length of app. 50 m. Because the cut penetrates also into Quaternary strata, whose lower layers are formed by discontinuous watered gravels and sands, there is a danger of water effluences. Upon reaching the same chainage as current face of the IB gallery, it is recommended to excavate simultaneously both sections a and b within other parts of the rock massif where geotechnical conditions are favorable for excavation of these sections. Only by passage through a zone of tectonic faulting there is a possibility of occurrence of certain overbreaks as a result of penetrating areas of discontinuity that separate individual compact blocks of clays. With regards to sufficient distance of both tunnel tubes, it will be possible to excavate them independently. The far-western parts of sections I and II of both tunnel tubes (places which the exploratory galleries did not reach) will have to be excavated in direction from the western provisory portals. Regarding the reducing overburden, it was also here recommended to secure the excavation using protective micropile umbrellas.

During excavations of these sections, it will be necessary to monitor behavior of the clay massif and observe deformations of surface in order to refine estimation of the final deformations as a result of excavation of the entire tunnel structure.

Upon excavation of the a and b sections, excavation of sections c and d will follow. These sections will be excavated in clays of principally same attributes with the clays that were encountered during excavation of sections a and b (exploratory galleries). Excavations of these sections should not make any difficulty. Yet with regards to the character of clays in section connecting to the exit portal (clays of very tough consistency), floors will have to be secured with anchoring. It will not have to be realized simultaneously with excavation, it will be sufficient upon excavation of app. 30 m. Anchoring of floor in other geotechnical units will be determined only based on the results of monitoring, especially the convergence measurement. Faces of these sections will not have to be secured during continuous excavation, they will only be protected with thin spray upon excavation of individual advances in the same way as during excavation of the exploratory galleries. However, faces will have to be secured when the excavation is interrupted, and thus in recommended spacing of 30 m.

Excavation of the e sections – calottes of tunnel tubes represents the most complicated phase of realization of the tunnel structure, and thus namely due to largest widths of excavation with relatively low cambering and deteriorated geotechnical conditions in higher parts of the geological profile. These parts will, especially in sections adjacent to provisory portals, markedly penetrate into Quaternary strata with all unfavorable impacts that in significantly lower scale affect also excavations of sections a and b. It will therefore be necessary to secure excavation in these sections using micropile umbrellas, double-shell if possible (formed by upward-inclined micropiles with long overlapping). Also the face will require a protection here, ideally using anchoring with a layer of shotcrete. Realization of micropile umbrellas will be also suitable during passage through zone of tectonic faulting as a protection from out-falling blocks of compact clays that become separated along the areas of discontinuity. Start of excavation of the e sections is recommended upon excavation of about 30 m of sections c and d. Because excavation of the calotte will proceed slower than excavation of the sections c and d, its progress will be interrupted only by pauses caused by realization of the micropiles.

Sections f of the tunnel tube's excavation will require solid protection of the floor by anchoring and a thick layer of shotcrete due to the danger of its lifting. This danger is imminent namely in sections near the exit portal in clays due to their rigid consistency. Floor will have to be anchored in other units as well with regards to large width of the excavation and small cambering – smaller than in calotte. Anchoring will have to be realized in every advance unlike in realized section III and IV, where this protection might be realized upon excavated of larger sections. The need for protection of partial faces will arise based on the speed of excavation of these sections as well as protection of floors. Due to technological reasons, excavation of sections VI can be started upon excavation of app. 60 of calotte, from the geotechnical point of view it would be best to start it in smallest possible distance from excavation and protection of calotte.

Procedure of excavation using the sequencing was verified by a model measurement that was carried out by the Institute of Geotechnics by the Civil Engineering Faculty of Technical University in Brno. The measurement confirmed the possibility of such method of construction and also set an appropriate step of excavation progress of app. 1 m.

Exploratory and monitoring activity during excavation of the exploratory galleries as well as their own excavation proved the possibility of realization of the designed tunnel structure and set conditions for the design intent to be accomplished. Results of the exploration can thus serve for design of dimensions of the tunnel tubes as well as for design of the technological procedure of their excavation.

## TUNEL V JIHLAVĚ DOSAVADNÍ POZNATKY GEOTECHNICKÉHO SLEDU A MONITORINGU

### TUNNEL IN JIHLAVA LESSONS FROM GEOTECHNICAL OBSERVATION AND MONITORING

ING. JAN STACH, ING. STANISLAV RECH, GEOTEST BRNO, a. s.

#### 1. ÚVOD

Budovaný tunel v Jihlavě je součástí stavby Silnice I/38 Jihlava, obchvat. Navazuje na stávající dálniční přívaděč - čtyřpruhovou komunikaci I/38 od km 112 dálnice D1 přes Jihlavu a dále pokračuje západním okrajem intravilánu města ve směru na Znojmo - viz obr. 1. Aktuálně budovaný silniční úsek začíná na ulici Jiráskova a ústí na silnici II/406 ve směru na Pelhřimov. Hloubený tunel v km 10,295 - 10,599 silničního obchvatu se nachází v místě protáhlého hřbetu u Horního Kosova, kde se kříží s ulicí Rantířovskou. V okolí tunelu se nachází zástavba vícepodlažních panelových domů a individuální zástavba rodinných domků. Silnice procházející tunelem je navržena jako směrově rozdělená, kategorie S 22,5/80. S ohledem na prognózu dopravní zátěže se v současnosti buduje pouze pravá polovina komunikace s dočasným obousměrným provozem, a proto je také stavěna jen konstrukce pravého tunelového tubusu. Levá polovina má být dostavěna po naplnění dopravní kapacity v průběhu asi 15 - 20 let. Směrově leží tunel v mírném levostřanném kruhovém oblouku, s rozmezím nivelety u vjezdového a výjezdového portálu 522 - 529 m n. m. Celková délka tunelu je 304 m.

#### 2. GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY LOKALITY

Zájmová oblast je součástí moldanubika, kde skalní podklad představují krystalické břidlice - pararuly obsahující biotit a cordierit. Tunel je budován v horninách s proměnlivým stupněm zvětvování, tj. v pararulách slabě navětralých až zcela zvětralých a dále ve výrazně vyvinutém písčitojilovitém eluviu rozloženého skalního masivu. Pararuly jsou místy nepravidelně migmatizované, jemného až středního zrna a také rovněž nepravidelně rozpukané. V základní mase pararul se vyskytují i polohy leukokratické dvojsídlivé žuly.

Z hydrogeologického hlediska lze v oblasti tunelu v zásadě vyčlenit svrchní zvětvěnou vázanou na kvartérní pokryv a eluviální zónu zvětvování a níže položenou rozkolísanou zvětvěnou vázanou na puklinový systém s proměnlivým podílem průlinové porozity. Hladina podzemní vody byla dle provedených průzkumných prací narušena poblíž rozhraní pevné masivnější pararuly a pararuly rozpukané, postižené zvětvováním. Lze předpokládat proudění podzemní vody po kompaktnějším skalním podloží do místních erozivních bází. Úvodní šetření prokázalo výskyt ustálené hladiny podzemní vody u jižního portálu asi v hloubce 1,9 - 3,2 m pod původním terénem, u severního portálu v hloubce asi 7,4 - 8,8 m. Podzemní voda má mírně napjatý charakter. Do prostoru při ulici Rantířovské je kladeno místní rozvodí hřbetu kopce.

V rámci geotechnického sledu jsou GEOTestem Brno, a. s., zjištěné poznatky o geologické stavbě a inženýrskogeologických poměrech průběžně upřesňovány.

#### 3. NAVRŽENÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

Vzhledem k inženýrskogeologickým a hydrogeologickým poměrům v trase obchvatu, dopravním požadavkům a s ohledem na minimalizaci dopadů na okolní zástavbu je konstrukce tunelu řešena jako tunel hloubený z otevřené stavební jámy. Z úrovně jejího dna byly provedeny podélné podzemní stěny se zaklenu tím plochou segmentovou klenbou. Nosná konstrukce tunelu v podstatě představuje polorám s příčli ve tvaru ploché klenby a patami vetknutými do horniny na požadovanou hloubku, která byla volena tak, aby bylo zamezeno vtokům podzemní vody pod patou lamel podzemních stěn do prostoru tunelu. Namísto původně navržené technologie hloubení podzemních stěn frézováním byla použita technologie za použití drápáku.

#### 4. HLAVNÍ ÚČASTNÍCI PROJEKČNÍCH A REALIZAČNÍCH PRACÍ

Na projekčních a realizačních pracích na zakryté části silnice I/38 km 10,295 - 10,599 se podíleli následující hlavní účastníci:

Investor:	Ředitelství silnic a dálnic Praha, správa Jihlava
Generální projektant obchvatu:	Dopravoprojekt Brno, a. s.
Projektant tunelu:	Amberg Engineering Brno, a. s.
Výstavba tunelu:	sdržení firem pod vedením COLAS CZ, a. s., závod Jih
Vyšší zhotovitel tunelové části:	ŽS Brno, a. s.
Zemní a výkopové práce:	SSŽ Praha, a. s.
Podzemní stěny:	Zakládání staveb, a. s., Praha
Železobetonová klenba:	SMP Construction, a. s., Praha
Geotechnický sled a monitoring:	GEOTest Brno, a. s.

#### 1. INTRODUCTION

Constructed tunnel in Jihlava is part of the structure "Road I/38 Jihlava, bypass". It connects to the existing highway feeder - four-lane road I/38 from the 112th km of D1 highway through Jihlava and further along western border of the city towards Znojmo - see Fig. 1. The currently constructed road section begins in Jiráskova street and joins the road II/406 towards Pelhřimov. The cut-and-cover tunnel between km 10,295 and 10,599 of the road bypass is located in place of a stretched hill ridge near Horní Kosov, where it crosses Rantířovská street. Close to the tunnel there are multi-storey panel buildings as well as separate residential houses. The road passing through the tunnel is designed as the dual-carriageway S 22,5/80 category. With regards to estimated traffic loading, only right half of the road with temporary bi-directional traffic is under construction, and therefore only framework of the right tunnel tube is constructed. Left half is to be constructed only when the traffic capacity is exhausted in the course of about 15 to 20 years. As far as the alignment is concerned, the tunnel makes a slight leftward circular curve, with elevations of the access and exit portals ranging from 522 to 529 m above sea level. Total length of the tunnel reaches 304 m.

#### 2. GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE LOCALITY

The area of interest is part of the Moldanubian, where rock bedding is represented by schists - paragneisses containing biotite and cordierite. The tunnel is constructed within rocks with variable level of weathering, i.e. in low-weathered to entirely weathered paragneisses, and further within strongly developed sandy-clayey eluvia of the disintegrated rocky massif. Locally, the paragneisses are irregularly migmatized, finely to middle grained and also irregularly fractured. The elemental mass of paragneisses also contains layers of leucocratic para-mica granite.

As for the hydrogeological view of the tunnel area, it is possible to principally separate upper waterings bound to a quaternary cover, alluvial zone of weathering and a lower located fluctuating watering bound to a fissure system with a variable rate of porosity. According to realized exploratory works, the level of groundwater was encountered near interface of the solid and harder paragneiss with the fractured paragneiss, suffering from weathering. Groundwater circulation along compact bedrock into local erosive bases can be assumed. Initial probe proved the occurrence of stable groundwater level in depth of app. 1,9 - 3,2 m below original terrain at the southern portal and app. 7,4 - 8,8 m at the northern portal. The groundwater is of slightly confined character. Local water divide of the hill ridge takes place in area of Rantířovská street. Within the frame of geotechnical observation, GEOTest Brno, a.s. constantly refines the knowledge about geological structure and engineering-geological conditions.

#### 3. DESIGNED CONSTRUCTION SYSTEM

With regards to engineering-geological and hydrogeological conditions in the bypass route, traffic requirements and regarding the minimization of impacts of the surrounding structures, construction of the tunnel is designed as a cut-and-cover structure built in an open cut. Axial diaphragm walls were realized from its bottom, with a flat segmented vault spanning the walls. Supporting structure of the tunnel is technically represented by a semi-frame with cross beam (i.e. the flat vault) and its bases cast into rock into required depth, which was so selected in order to prevent groundwater inflows into the tunnel area below base of lamellas of the diaphragm walls. Instead of the previously proposed technology of digging trenches for the diaphragm walls by a cutter, a technology with the use of a grab was used.

#### 4. MAIN PARTICIPANTS IN THE DESIGNING AND REALIZING WORKS

The following main participants were involved in designing and realizing works on the covered in section of road I/38 km 10,295 and 10,599 :

Investor:	Ředitelství silnic a dálnic Praha, Správa Jihlava
General designer of bypass:	Dopravoprojekt Brno a.s.
Tunnel design:	Amberg Engineering Brno a.s.
Tunnel construction:	Consortium led by COLAS CZ a.s., závod Jih
Supervising realizer of tunnel section:	ŽS Brno, a.s.
Earthworks:	SSŽ Praha, a.s.
Diaphragm walls:	ZAKLADÁNÍ STAVEB, a.s. Praha
Reinforced concrete vault:	SMP CONSTRUCTION, a.s. Praha
Geotechnical observation and monitoring:	GEOTest Brno, a.s.

## 5. GEOTECHNICKÝ SLED

Geotechnický sled zakryté části silnice I/38 zahájil GEOtest Brno, a. s., v měsíci listopadu roku 2002. V té době byla prováděna první etapa výstavby, tj. stavební jáma mezi oběma portály o celkové délce 304 m, zasahující do hloubek v rozmezí 4,2 až 9 m pod stávající terén. Pravá strana stavební jámy je budována v generálním sklonu 5:1, místy i větším. Její stabilita byla zajištěna hřebíkováním, což bylo způsobeno vlivem změn geologických poměrů v eluviální zóně pararul v místě tektonických poruch, kde při provádění výkopu docházelo k vyjždění horninových bloků. Stěna výkopu byla zajištěna proti erozi betonovým nástřikem. Dále byla v této době již zahájena úprava levé strany výkopu, který byl do výše 4 m nad jeho dno proveden ve sklonu 1,5:1, byl opatřen bermou pro obslužnou komunikaci a rovněž zajištěn betonovým nástřikem. Umístění tunelu ve výkopové jámě je zřejmé ze schematického příčného řezu na obr. 2.

Geotechnický sled navazoval na dříve provedené inženýrskogeologické i geofyzikální průzkumy v trase tunelu. Spočíval v upřesňující kvalitativní dokumentaci stavu horninového masívu zejména při výstavbě podzemních stěn a při těžbě horninového materiálu z tunelového tubusu a v upřesnění dílčích hydrogeologických prvků.

V rámci geotechnického sledu byla uskutečňována soustavná dokumentace tektonických prvků, tj. měření směru a velikosti úklonů ploch nespojitosti horninového masívu. Tyto údaje nebyly před zahájením výstavby tunelové části známy. Měření bylo prováděno na umělých výchozech stěn levé strany prováděného výkopu, ve výkopech pro vodící židky podzemních stěn a středový odvodňovací drén, dále i později na výchozech pro založení křídel u obou portálů. Prvořadá pozornost tomuto měření byla věnována z důvodů okamžitého zakrývání výchozů betonovým nástřikem nebo stavebními konstrukcemi. Vedle puklinového systému byly zaměřovány plochy foliace jako hlavní předurčené plochy nestability. V délce tunelu je průměrný směr úklonu v rozmezí 85 - 125°, velikost úklonu 63 - 74°. Znamená to, že trasa tunelu je velmi blízká směru foliace. Jejich strmý úklon, upadající z pravé strany zářezu do dna výkopu, byl vedle tektonických poruch jednou z příčin nestability pravé (zajišťované) stěny stavební jámy. Obdobně tomu bylo i u hloubených výkopů pro část lamely podzemních stěn. Úsek zakryté části silnice I/38 je z výše uvedeného hlediska poměrně nepříznivý.

V době provádění jednotlivých lamel podzemních stěn v jižní části trasy tunelu byly zjištěny výrazně pevnější polohy hornin, než bylo předpokládáno. Kromě velmi pevných pararul byly zastíženy i polohy světlých žul (granitoidů), a to již prakticky v úrovni vodících židek na dně výkopové jámy. Z tohoto důvodu byl proveden doplňkový průzkum, který měl upřesnit průběh a charakter pevnějších hornin v místě podzemních stěn a případně zvážit dopad na jejich realizaci. Ze dna střední a jižní části stavební jámy bylo provedeno 8 průzkumných sond zasahujících až pod patu podzemních stěn. Základní fyzikální a mechanické vlastnosti zastížných hornin byly zjišťovány na souboru padesáti vzorků vrtného jádra a vzorků balvanitých, vytěžených z lamel podzemních stěn. Z fyzikálních vlastností byly určovány hustota pevných částic, objemová hmotnost, nasákavost, pórovitost, hutnost, z pevnostních charakteristik pak pevnost v prostém tlaku, a to převážně ze stavu plně nasyceného vodou. Balvanité vzorky umožnily stanovení pevnosti v prostém tlaku kolmo i rovnoběžně s folií. Výsledky pevnostních zkoušek byly vodítkem pro klasifikaci horninového materiálu podle ČSN 73 1001 dle dosažené hodnoty pevnosti  $\sigma_c$ . Vedle eluvia, tj. rozloženého horninového masívu charakteru zeminy tř. R6, byly rozlišeny ruly zcela zvětralé třídy R5 jako horniny s velmi nízkou pev-



Obr. 1 Umístění stavby  
Fig. 1 Location of the construction

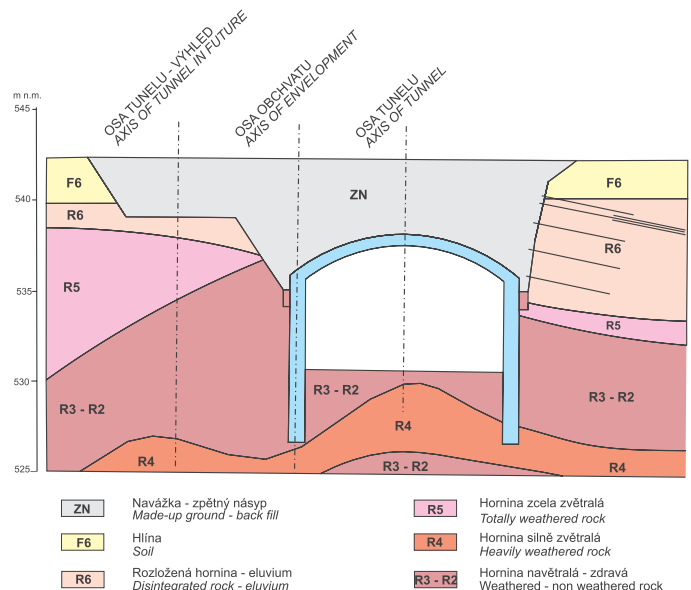
## 5. GEOTECHNICAL OBSERVATION

GEOtest Brno, a. s. started the geotechnical observation of the covered section of the road I/38 in November 2002. The first phase of the construction was being realized at that time, i.e. the open cut between both portals in total length of 304 m, reaching in depths between 4.2 and 9 m below the existing terrain. Right side of the open cut was constructed in a general gradient of 5:1, locally larger. Its stability was secured by nailing, due to the impact of altered geological conditions in the alluvial zone of paragneisses in place of tectonic faults, blocks of rock were sliding out during realization of earthworks. Wall of the cut was safeguarded against erosion by shotcrete. Moreover, adjustment of left side of the tunnel had also started. It was realized in gradient of 1.5:1 up to 4 m above its bottom, equipped with a berm for service road and also secured by shotcrete. For schematic cross section of location of the tunnel in the open cut see Fig. 2.

Geotechnical observation linked on the previously realized engineering-geological as well as geophysical explorations of the tunnel route. It meant to refine qualitative documentation of condition of the rock mass, especially during construction of diaphragm walls and mining of rock material from the tunnel tube, and for specification of partial hydrogeological elements.

Within the frame of geotechnical observation, a constant documentation of tectonic elements was elaborated, i.e. measurements of directions and magnitudes of dipping of planes of discontinuity in the rocky mass. These data were not known prior to the start of construction of the tunnel section. The measurement was realized at "artificial" outcrops on the left slope of the realized cut, inside guide trenches for diaphragm walls, and central drainage trench, and later also at the foundation base for wings of both portals. Major attention was devoted to this measurement due to reasons of immediate covering of the points with shotcrete or engineering frameworks. Beside the fissure system, also the areas of foliation were in focus as the main estimated areas of instability. There is an average direction of the slope of 85 - 125° and the dip of 63 - 74° in the tunnel. It means that the tunnel route is very close to the direction of foliation. Their sharp gradient, falling from right side to bottom of the cut, was beside the tectonic faults one of the causes for instability of right (secured) wall of the construction cut. There were similar conditions in the trench for part of lamella of the diaphragm walls. From this viewpoint, covered section of road I/38 is relatively challenging.

Significantly tougher than expected layers of rocks were revealed in southern section of the tunnel route during realization of the separate lamellas of diaphragm walls. Beside very hard paragneisses, also layers of light granites (granitoids) were encountered, and thus already in the level of the guiding trench at the bottom of the construction cut. Due to this reason, a supporting exploration was carried out, which was supposed to determine the type and character of harder rocks in places of the diaphragm walls and eventually consider their impact on realization. Eight exploratory probes were realized from the bottom of central and southern part of the construction cut, reaching all the way below bases of the diaphragm walls. Fundamental physical and mechanical attributes of the encountered rocks were induced from a set of 50 samples from the boring core and bulk samples obtained from lamellas of the diaphragm walls. The examined physical attributes included density of solid particles, volume weight, saturation, porosity, consistency, from strength attributes then unconfined compressive strength and that mostly under the condition of full saturation with water. Bulk samples enabled determination of unconfined compressive strength perpendicularly as well as in parallel with foliation. Results of strength tests were clue for classification of rock material according to ČSN 7301001 based on acquired strength value  $\sigma_c$ . Beside gneiss eluvia, i.e. disintegrated rock mass of soil type class R6, the gneisses encountered included totally weathered class R5 as rocks with very low strength, strongly weathered



Obr. 2 Příčný řez tunelem  
Fig. 2 Cross-section of the tunnel





Obr. 3 Výstavba hloubeného tunelu  
Fig. 3 Construction of a cut-and-cover tunnel

ností, ruly silně zvětralé třídy R4 (horniny s nízkou pevností) a dále ruly a granitoidy navětralé třídy R3 až R2 se střední až vysokou pevností v rozmezí  $\sigma_c = 34$  až 62 MPa. Lokálně byly v lamelách blíže severního portálu zastíženy i zdravé balvanité křemence, vázané pravděpodobně na zlomovou linii Staré Hory - Pistov východně od trasy obchvatu. Výsledky doplňujícího průzkumu byly zpracovány v geologických profilech v místě podzemních stěn, s interpretací zón převažujícího zatřídění horninového materiálu, podle kterých je usuzováno na rozpojitelnost a vrtatelnost hornin. Rozlišení v délce podzemních stěn bylo provedeno syntézou výsledků doplňkového průzkumu, archívních sond a dokumentace prováděných lamel. Obě linie podzemních stěn jsou charakteristické proměnlivým hloubkovým dosahem eluvia, prostupujícími poruchami, střídáním pevnosti rulového masivu i vlivem strmého úklonu poloh rul s různými stupni zvětrávání omezenými plochami foliace. Významné výstupy pevných poloh rul doprovázených granitoidy byly zjištěny při severním portálu v km 10,325 a dále v km 10,490 trasy tunelu. Výsledky doplňujícího průzkumu potvrdily v zásadě jen lokálně zvýšenou pevnost horninového masívu a jeho vyšší úroveň.

Relativní propustnost horninového materiálu byla ověřována dodatečně uskutečněnými orientačními hydrodynamickými zkouškami. Z jejich analýzy vyplývá, že prostředí, ve kterém je realizována stavba tunelu, je z pohledu propustnosti nehomogenní. Zásadní vliv na propustnost má zřejmě charakter zvětrávání. Pokud jsou horniny značně postiženy procesy zvětrávání (eluvia, poruchové zóny), mají jen nízkou propustnost. V případě, že jsou navětralé až zvětralé horniny rozpukané s nízkým podílem jílovité frakce, propustnost se zvyšuje.

Vzhledem ke skutečnostem zjištěným doplňkovým průzkumem byly proto podzemní stěny realizovány až do hloubek stanovených projektem. V místě pevných poloh rul a granitoidů bylo použito předvrtů, a to i s ohledem na omezení vyjiždění horninových bloků podél ploch foliace vlivem nárazů drapaků za spolupůsobení vzdouvající se podzemní vody za rubem podzemních stěn.

Sledem těžby horninového materiálu z tunelového tubusu na úroveň pláně byly v zásadě potvrzeny závěry předchozího hodnocení. Obecně lze uvést, že zhruba do 2/3 délky tunelu byla částečně těžena eluvia a dále horniny velmi nízké až střední (místy i vysoké) pevnosti, ve zbývající 1/3 převažovaly eluviální materiály. V průběhu těžby bylo možno místy dodatečně dokumentovat důsledek nestability hornin na plochách foliace (případně puklin a v poruchových zónách), což se projevilo vyjižděním horninových bloků do výkopů hloubených lamel. Nadspotřeba betonu v těchto místech proto zasahovala až do světlého průřezu tunelu. Po hrubém vytěžení profilu bylo nutno tento beton odstranit (CEVAMIT, odfrézování) - viz obr. 4.

Jedním z důležitých poznatků při sledu těžby horninového materiálu je i rychlá ztráta pevnosti slídnatých rul vlivem klimatických změn, vlhkosti, mrazu a mechanického porušení vlivem pojiždění pláně. Na severní část tunelu jsou vázány i místní vývěry podzemních vod z puklinového systému rul či granitoidů, dále i z porušených prostupujících pegmatitových vrstviček centimetrové až decimetrové mocnosti. V důsledku uvedených činitelů docházelo místně k znehodnocování (rozbídnutí) hornin v pláni. Negativní vliv průsaků podzemní vody byl následně odstraněn zřízením vnitřních obvodových drenů s vyvedením mimo konstrukci tunelu.

## 6. MONITORING CHOVÁNÍ TUNELOVÉ KONSTRUKCE

Tak jak je obvyklé u tunelových staveb, i zde požadoval projektant sledování chování tunelové konstrukce, a to v šesti profilech, umístěných do staničení v km 10,308 (PF I), km 10,338 (PF II), km 10,398 (PF III), km 10,458 (PF IV), km 10,513 (PF V) a km 10,578 (PF VI). Režimní sledování bylo prováděno jak v průběhu budování ploché klenby (viz obr. 3), tak i v průběhu jejího přesypávání zpětným hutněným zásypem, které bylo doprovázeno odtěhováním hornin z vlastního tunelového profilu až na úroveň pláně budoucí vozovky. Jak betonování ploché klenby, tak i její přesypávání a těžba uvnitř tunelového díla probíhaly z technologických důvodů od jižního portálu směrem k severu, tj. proti staničení díla.

V odvislosti od postupu prací tak bylo možno nejprve posuzovat chování vlastní ploché železobetonové klenby a její deformace při opětovném přesypávání (1. fáze), v další (2. fázi) pak i celkové chování tunelové roury při odtěhováním horniny z pro-



Obr. 4 Úprava podzemních stěn  
Fig. 4 Adjustment of a surface of diaphragm walls

class R4 (rock with low strength) and also granitoids of weathered classes R3 and R2 with medium to high strength ranging between  $\sigma_c = 34$  to 62 MPa (local areas in lamellas near the northern portal also experienced sound bulky quartzites, likely bound to the fracturing line Staré Hory - Pistov eastward of the bypass route). Results of the supporting exploration were elaborated in geological profiles in places of the diaphragm walls, with interpretation of zones of the particularly predominant classification of rock material, based on which the rock disjoining and boring attributes are deduced. Differentiation in length of the diaphragm walls was realized using a synthesis of results of the supporting exploration, archive probes and documentation of the realized lamellas. Both axes of diaphragm walls are characterized by variable depth outreach of the eluvia, penetrating fractures, alternation of strength of the gneiss massif and by impact of steep slopes of the gneiss layers in different phases of weathering with limited areas of foliation. Significant rises of solid layers of gneisses and granitoids were discovered near the northern portal at km 10,325 and also km 10,490 of tunnel route. Results of the supporting exploration in principle confirmed only locally elevated strength of the rock massif and its higher level.

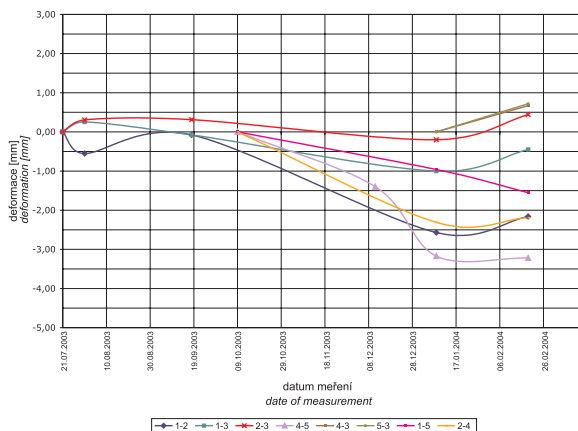
Relative permeability of the rock material was verified by additionally realized preliminary hydrodynamic tests. Their analysis suggests that environment, in which construction of the tunnel proceeds, is non-homogeneous from the viewpoint of permeability. The character of weathering obviously has a major impact on the permeability. In case the rocks have strongly suffered from the weathering processes (eluvia, faulting zones), they only have a low permeability. In case the rocks are slightly or medium weathered and fractured with low proportion of clay, the permeability rises. With regards to facts learned from the supporting exploration, the diaphragm walls were realized within depths determined by the design. Pre-bores were deployed in places of hard gneiss layers, also regarding the curbing of sliding out rock blocks along the planes of foliation due to the impacts of the grab, and joint impact of upheaving groundwater behind the back of the diaphragm walls.

Observation of the rock material hauled from tunnel tube to the surface level in principle confirmed the results of the previous evaluation. It can be generally stated that eluvia and rocks of very low to medium (locally even high) strength were excavated from app. 2/3 of the tunnel length, in the remaining 1/3 alluvial materials prevailed. The process of mining locally enabled additional documentation of the impact of rock instability at the areas of foliation (eventually fissures and fracturing zones), which proved by sliding out of rock blocks into the trenches for the lamellas. Concrete filling the cavities in these places thus reached into the net profile of the tunnel. Following rough excavation of the profile it was necessary to remove this concrete (CEVAMIT, removal by milling) - see Fig. 4.

The sudden loss of strength of mica gneisses due to climatic changes, humidity, frost and mechanical faulting due to surface movement was an important piece of knowledge learned during observation of the excavation of the rock material. There are also local springs of groundwater from the fissure system of gneisses and granitoids, and from penetrating centimeters to decimeters thick faulted pegmatite layers, bound to northern section of the tunnel. As a result of these factors, degradation (slaking) of rocks at the surface occurred locally. Negative impacts from groundwater leaks were consequently removed by establishing inner peripheral drainage with outlet outside the tunnel construction.

## 6. MONITORING OF BEHAVIOR OF THE TUNNEL FRAMEWORK

As is common for tunnel structures, also here the designer requested monitoring of behavior of the tunnel framework, and thus at six profiles located at chainage km 10,308 (PF I), km 10,338 (PF II), km 10,398 (PF III), km 10,458 (PF IV), km 10,513 (PF V) and km 10,578 (PF VI). Constant monitoring was realized during the process of construction of the flat vault (see Fig. 3) and during its backfilling with compacted filling, which was accompanied by excavation of rock from the tunnel profile p to the sub-base level of future carriageway. Due to technological reasons, concrete placement of the flat vault, its covering and excavation inside the tunnel structure all proceeded from the southern portal towards the northern, i.e. counter the chainage. Based on the progress of works it was thus only possible to evaluate behavior of the flat vault of reinforced concrete and its deformations during the backfilling (1st



Obr. 6 Graf deformací konstrukce tunelu  
Fig. 6 Diagram of a tunnel construction deformation

storu tunelového profilu a jeho dokončování do definitivní podoby. Zde bylo vzhledem k nerovnostem vnitřních stěn nutné jejich dodatečně zarovnáání do projektovaného profilu ofrčzováním.

Osazení mřných bodů proto bylo nejdřívě prováděno ve vrcholu klenby a obou jejích prazích osazených na podélných podzemních stěnách, v průběhu odtěžování pak i v blízkosti pat podélných podzemních stěn (body byly umístovány asi 3,2 m pod horní úrovně podzemních stěn, tj. na styku s plochou klenbou). Tak jak postupovala výstavba, kompletace bodů v profilech a mření postupovaly od profilu PF VI směrem k PF I. Mření na plochých klenbách se proto časově nepravidelně přerývá s mřením kompletního tunelového profilu. Schéma umístění mřných bodů je znázorněno na obr. 7.

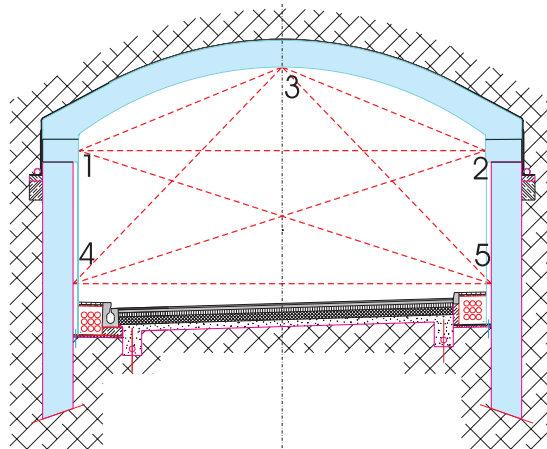
Vzhledem k tomu, že pro vytěžení vnitřních prostorů tunelu bylo prakticky po celé délce tunelu nutno dodatečně srovnat vnitřní povrchy podzemních stěn ofrčzováním, docházelo při těchto pracích k opětvným destrukcím bodů umístěných především při patách podzemních stěn. Tyto body byly proto průběžně reinstalovány, což ovšem způsobovalo na dotčených místech přerušení kontinuity mření, především ve vzdálenostech 4 - 5, 4 - 1 a 5 - 1 (viz obr. 7).

S ohledem na typ tunelové konstrukce, při jejímž dimenzování byla brána do úvahy budoucí (druhá) souběžná konstrukce tunelového tubusu, předpokládal projektant minimální deformace konstrukce tunelového profilu, pohybující se řádově v desetinách milimetrů až v milimetrech.

Z toho důvodu byla GEOTestem Brno, a. s., pověřeným sledováním průběhu deformací, zvolena metoda sledování pomocí zařízení DISTOMETER ISETH, jehož dodavatelem, je švýcarská firma KERN & CO. AG - viz obr. 5. Tento distometr ISETH (vyvinutý v Ústavu pro stavbu silnic a stavby ve skalách Vysoké školy technické v Curychu) je mechanické přesné zařízení ke zjišťování rozdílů vzdáleností pomocí invarových drátů. Přístroj spojuje zařízení k nastavování upínací síly, nutné pro mření invarovým drátem, se zařízením k mření délek do jediného přístroje. Napínací síla (8 kp) je kontrolována přesnou ocelovou pružinou, jejíž velikost je měřena číselníkovým úchylkoměrem. Jakmile je předepsané 8 kp stanovené napínací síly dosaženo, lze odečíst na druhém číselníkovém úchylkoměru dosažené roztažení (deformace). Toto je samozřejmě srovnáváno s kalibračním mřením před - v průběhu a po ukončení série příslušným mřením, korigovaným na okolní teplotu. Konstrukce tohoto přístroje vyrobeného s vysokou přesností, možnost odečítání délek při přesném nastavení napínací síly a použití invarových drátů (jejichž součinitel teplotní roztažnosti je  $1.10^{-6}$ ) zaručuje přesnost odečtu délkových změn na 0,01 mm. Skutečná přesnost mření s přihlédnutím k cejchovacím chybám a změnám okolní teploty je tak plus minus 0,02 - 0,03 mm. Tato přesnost při použití invarových drátů tak staví užívané zařízení vysoce nad běžně používané pásmové extenzometry (srovnávací mřeními provedenými GEOTestem Brno, a. s., na některých lokalitách vychází, že míra přesnosti distometrem ISETH je o jeden až dva řády vyšší, než u extenzometrických zařízení používajících pásma). Snad jedinou nevýhodou tohoto zařízení je, že pro každou mřící vzdálenost (pokud se liší o více než  $\pm 5$  cm) je nutno připravit jinou délku mřícího drátu. Užití tohoto přístroje s invarovými dráty je tedy relativně drahé, na druhou stranu ovšem zaručuje vysokou přesnost mření. Vzhledem k tomu, že v našem případě se jednalo o pravidelnou konstrukci tunelového díla, bylo možno využít zejména při mřeních na ploché klenbě pouze 1 délky drátu pro opakovaná mření na vzdálenostech 1 - 2 a 1 - 3 a mezi body 2 - 3. Pro mření mezi body 4 - 5, 4 - 3, 4 - 2, 5 - 3 a 5 - 2 však bylo v některých případech nutno připravovat separátní délky drátů, neboť především při opakovaném ofrčzováním líce podzemních stěn (a tím i zmiňovaném přeinštalování některých bodů 4 resp. 5) docházelo ke změnám původních vzdáleností větších než  $\pm 5$  cm (což je limit rozsahu číselníkového úchylkoměru mřícího změnu délky).



Obr. 5 Distometr Kern-Iseth  
Fig. 5 Distometer Kern-Iseth



Obr. 7 Schéma konvergenčního profilu  
Fig. 7 Scheme of cross-section of convergence measurement

phase), during the next one (2nd phase) also total behavior of the tunnel tube during excavation of rock from area of the tunnel profile and putting into final shape. With regards to unevenness of inner walls it was necessary to additionally treat them into the designed profile by milling.

Therefore, measuring points were first installed at the top of the vault and its both springing lines along axial diaphragm walls, during the process of excavation then also near bases of axial diaphragm walls (points were located app. 3,2 m below top level of the diaphragm walls, i.e. in the place of contact with the flat vault). Then, as the construction proceeded, completion of points in the profiles and their measurements proceeded from profile PF VI towards PF I. Measurement at flat vaults thus in time coincides with measurement of complete tunnel profile. For the layout of measuring points see Fig. 7.

Due to the fact that in order to excavate inner areas of the tunnel it was in principle necessary to additionally treat inner surfaces of the diaphragm walls by milling along the entire tunnel length, some points located mostly near bases of the diaphragm walls were repeatedly destroyed during these works. These points had to be constantly reinstalled, but that already caused discontinuity of measurement at the given locations, especially in distances 4-5, 4-1 and 5-1 (see Fig. 7).

Considering the type of tunnel framework, during whose dimensioning a potential (second) parallel framework of the tunnel tube was contemplated, the designer estimated minimal deformations of framework of the tunnel profile, ranging in tenths of millimeters to millimeters.

Because of this, GEOTest Brno, a.s., being commissioned to monitor the process of deformations, selected a method of monitoring using the device DISTOMETER ISETH, supplied by the Swiss company KERN & Co. AG - see Fig. 5. This distometer ISETH (developed in the Institute for construction of roads and structures in rocks of the Technical University in Zurich) is an accurate mechanical device measuring the difference of distances using invar wires. This unit combines the device for setting of fixing force, necessary for measurement using invar wire, with device for measurement of distances into a single device. Fixing force (8 kp) is controlled by an accurate steel spring, whose size is then measured by a numeric measurer of deviation. When the requisite 8 kp of preset fixing force is reached, acquired expansion (deformation) can be read from the second coefficient dial indicator. This deformation is obviously confronted with the calibration measurement before, during and after realization of the series of respective measurements, adjusted to surrounding temperature. Assembling of the device, constructed with high accuracy, the possibility of reading distances by accurate setting of the fixing force and the use of invar wires (with coefficient of thermal expansion  $10^{-6}$ ) ensures the reading accuracy of the distance differences of 0,01 mm. Actual measurement accuracy with regards to calibration errors and changes in surrounding temperature is about 0,02 - 0,03 mm. Such accuracy with the use of invar wires places the device high above commonly used tape extensometers (comparable measurements realized by GEOTest Brno, a.s. at several localities suggested that the rate of accuracy of distometer ISETH is about by one or two orders higher than of the extensometric tape using devices). Perhaps the only disadvantage of this device is the fact that for every measuring distance (in case it differs more than  $\pm 5$  cm) it is necessary to prepare a different length of the measuring wire. Use of this device with invar wires is thus relatively expensive, on the other hand it ensures high accuracy of measurement. Considering the fact that in our case it was a symmetric framework of a tunnel structure, it was possible to use, namely for measurements at the flat vault, only one wire length for repeated measurements at distances 1-2, 1-3 and between points 2-3. For measurement between points 4-5, 4-3, 4-2, 5-3 and 5-2 it was, however, in some cases necessary to prepare separate wire lengths, because especially repeated milling of faces of the diaphragm walls (and thus

Jednotlivé délky měrných invarových drátů jsou včetně speciálních svěrných upínacích koncovek uchovávány na kruhových kotoučích (např. ráfky cyklistických kol).

Před zahájením série měření je přístroj upnut do cejchovacího rámu a je pro kalibraci a pro temperování vůči okolní teplotě ponechán včetně používaných kotoučů s měrnými dráty po dobu asi 1 hodiny. Ze zkušeností je tato doba dostatečná pro zahájení vlastních měření.

Měrné body, na které se zavěšuje přístroj, resp. jeho koncovka na opačné straně měrné vzdálenosti, jsou vyrobeny z oceli a ocelového trnu (ROXOR Ø 12 mm). Tyto trny jsou do konstrukce (obezdívky) osazovány do předvrtaných otvorů Ø 16 - 18 mm, hloubky 10 - 15 cm. Zatmělení se provádí speciálním dvousložkovým plastickým tmelem, používaným pro kotvení v horninách (výrobce CARBOTECH Bohemia, s. r. o.). Výhodou tohoto tmelu je, že jeho vytvrzení probíhá během několika minut a že je dlouhodobě stabilní. Použití popsaného způsobu ukotvení měřících bodů se osvědčilo i při měřeních na jihlavské lokalitě. Jako příklad výsledků uvádíme na obr. 6 průběh deformací v měřeném profilu PF VI (km 10,578), který je jak z hlediska kompletnosti, tak i délky měření nejúplnější. V grafu je na vodorovné ose časový průběh měření, na svislé ose pak jsou znázorněny deformace mezi jednotlivými měrnými vzdálenostmi v hodnotách, jež vyjadřují změny oproti základnímu měření. Měření bodů, sledujících deformace ploché klenby, byla zahájena v červenci 2003. Průběh deformací v klenbě až do doby vytěžení plného tunelového profilu a osazuje měrných bodů při patách podzemních stěn v měsíci říjnu je nepatrný a pohybuje se v rozmezí + 0,05 až - 0,05 mm. V okamžiku instalace bodů při patách již byl v tomto úseku tunel přesypán hutnějším zásypem (na výšku asi do 2 m, u ostatních profilů proti směru stanici trasy tunelu se zásypu dosahuje výšky až 5 m nad vrcholem klenby, respektive až 8 m nad zhlaví podzemních stěn). V dalším průběhu sledování při odtěžení horniny uvnitř tunelu a částečně i rozbrědlé vrstvy v úrovni pláně docházelo do poloviny ledna roku 2004 k mírnému svírání především při patách podzemních stěn (v hodnotách do asi 3,5 mm). V dalším průběhu sledování však jsou již deformace prakticky neměnné.

Měření na dalších profilech vykazují přibližně obdobné výsledky. Velikosti deformací na ploché klenbě jsou v zásadě souhlasné s měřeními na PF VI, měření prováděná při patách podzemních děl však v některých případech vykazují větší deformace (až cca 7 mm), signalizující svírání při patách. Dle našeho názoru to lze připisovat především neplánovanému hlubšímu odtěžení při patách, ke kterému bylo nutno přistupovat s ohledem na rozbrídání pláně zaviněné zhoršenými hydrogeologickými podmínkami, které se projeví v průběhu těžby tunelového tubusu. Nicméně, dosud monitorované deformace jak ploché klenby, tak i opěrných podzemních stěn jsou velice nízké a nebudou podle našeho názoru ovlivňovat vlastní stabilitu tunelového díla. Kromě toho monitorovací období je prozatím relativně krátké (max. 7, min. 2 měsíce), a proto je zatím obtížné prognózovat další vývoj deformací.

## 7. ZÁVĚR

Budovaný tunel v Jihlavě na obchvatu silnice I/38 v km 10,295 - 10,599 je významnou liniovou stavbou kraje Vysočina, a i když představuje pouze jednu polovinu z původně navrhovaného rozsahu, výrazně zlepšuje životní prostředí, tak i dopravní situaci Jihlavy vedením komunikace mimo městské centrum.

Inženýrskogeologické a geotechnické práce jsou prakticky v konečné fázi. V budoucnosti významně poslouží při navrhování levostranné projektované části tunelu, i když vzhledem ke složitosti současných geologických podmínek bude nutno provést nutná dodatečná šetření.

Monitorování deformací konstrukce na jednotlivých profilech ve stávající části tunelu (PF VI - PF I) bude probíhat podle dosavadní dohody až do doby odevzdání díla do provozu. Vzhledem k tomu, že projektant požaduje pokračování měření i v dalších letech, včetně měření při budování sousedícího levostranné položeného tunelu, bylo dohodnuto, že měřené body ozn. č. 4 a 5 osazené při patách podzemních stěn budou v průběhu vytváření povrchové úpravy stěn prodlouženy až na líc konečné úpravy díla tak, aby bylo možno jednak pokračovat v měřeních v době provozování tunelového díla ve dnech jeho údržby, tak i při pozdější výstavbě budoucího paralelně projektovaného tunelu.

## LITERATURA:

Jihlava - obchvat silnice I/38 - podrobný inženýrskogeologický průzkum. GEO-ING Jihlava s. r. o., 1996

Jihlava - obchvat silnice I/38 - doplňující inženýrskogeologický průzkum. GEOSTAR s. r. o. Brno, 1999

Jihlava - obchvat silnice I/38 - hydrogeologický průzkum, GEOSTAR s. r. o., Brno, 1999

Silnice I/38 Jihlava - tunel, doplnění monitorovacích vrtů pro stavbu tunelu včetně pasportizace studny a výchozího měření hladin podzemní vody, GEOSTAR s. r. o., Brno, 2002

Jihlava - obchvat, tunel - Průběžná zpráva o dosavadních poznatcích geotechnického sledu za období listopad - prosinec 2002. GEOTest Brno, a. s., leden 2003

Jihlava - obchvat, tunel - Dílčí zpráva o geotechnickém dozoru a o výsledcích doplňujících geologických prací provedených na stavbě Silnice I/38 Jihlava, obchvat, zarytá část v km 10,295 - 10,599, GEOTest Brno, a. s., duben 2003

Poznámka: Základní údaje o stavbě a konstrukčním systému tunelu poskytl Amberg Engineering Brno, a. s.

mentioned reinstallation of some points 4 and 5) caused changes in original distances larger than  $\pm 5$  cm (which is the limiting range of dial indicator that measures the difference of distances).

Individual lengths of measuring invar wires are kept on sheaves (such as bike wheels) including special clamp endings.

Before the series of measurements are started, the device is fixed into the calibration frame and for calibration it is left to adjust to the surrounding temperature along with the used sheaves and measuring wires for about one hour. Experience and measurements proved that such period is sufficient for the start of proper measurements. Measuring points, on which the device, or rather its ending, is strung up on the opposite side of the measuring distance, are made of steel and steel bolt (ROXOR Ø 12 mm). These bolts are installed into in advance bored 10-15 cm deep holes Ø 16-18 mm in the framework (lining). They are fixed with special double-component plastic binder, used for anchoring in rock (manufactured by CARBOTECH Bohemia, s.r.o.). It is the advantage of this binder that it hardens within several minutes and has a long-term stability. Use of the described method of fixation of the measuring points proved satisfactory also by measurements in the Jihlava locality.

As an example of results, we present Fig. 7 as a process of deformations in the measured profile PF VI (km 10,578), which is the most complete one both from the viewpoint of completeness and length of measurement. Horizontal axis of the chart shows time progress of measurement and the vertical axis then the deformations between separate measuring distances in values that represent change in comparison with the original measurement. Measurement of points, which monitor deformations of the flat vault, started in July 2003. The progress of deformations in the vault until the time when full tunnel profile was mined and measuring points near bases of the diaphragm walls were installed in October is insignificant, ranging between + 0,05 and - 0,05 mm. At the time when the points at bases were installed, this section of the tunnel was already covered with compacted filling (app. 2 m high, in other profiles counter the tunnel route chainage height of the filling reaches up to 5 m above the top of the vault, respectively 8 m above the top of the diaphragm walls). In the following process of monitoring during the excavation of rock inside the tunnel and partially also water logged layers in the surface level, mild contraction was taking place especially at the bases of diaphragm walls (with values up to app. 3,5 mm) until the half of January 2004. Nevertheless, in the further process of monitoring these deformations remain practically the same.

Measurements at other profiles bring approximately similar results. Magnitude of deformations at the flat vault are in principle accordant with those measured at PF VI, however, measurements realized at bases of the diaphragm walls in some cases show larger deformations (up to app. 7 mm), which is signaling contraction near the bases. According to our opinion this can be attributed namely to the unexpected deeper excavation near the bases, which had to be carried out with regards to the slating of the surface due to deteriorated hydrogeological conditions that arose during the process of excavation of the tunnel. In spite of that, so far monitored deformations of both the flat vault and the supporting diaphragm walls are very low and will not, according to our opinion, have an impact on the stability of the tunnel structure. Moreover, the period of monitoring is yet relatively short (max. 7. min. 2 months) a therefore it is still difficult to estimate further development of the deformations.

## 7. CONCLUSION

The constructed tunnel in Jihlava on bypass of road I/38 at km 10,295 and 10,599 is a significant linear structure of the Vysočina region and although it represents only one half of the originally proposed dimension, it will remarkably improve the environment as well as the traffic situation in Jihlava by conducting the road around the city center.

Engineering-geological and geotechnical analyses are practically in their final phase. In the future they will serve well by designing of the proposed left part of the tunnel, although additional analyses will have to be elaborated due to the complexity of existing geological conditions.

Monitoring of deformations of the framework in separate profiles in the existing tunnel section (PF VI - PF I) will proceed according to the current contract until the work is handed over for operation. With regards to the fact that the designer requests to continue with measurements also in the following years, including measurements for construction of the adjacent left tunnel, it was agreed that measuring points no. 4 and 5, installed near the bases of diaphragm walls will be during the process of wall surface adjustments extended to the face of the final structure surface so that it would be possible to continue with measurements in times of operation of the tunnel structure during its maintenance days as well as during future construction of the parallel tunnel tube.

## LITERATURE:

Jihlava - obchvat silnice I/38 - podrobný inženýrskogeologický průzkum. GEO-ING Jihlava s.r.o., 1996

Jihlava - obchvat silnice I/38 - doplňující inženýrskogeologický průzkum. GEOSTAR s.r.o. Brno, 1999

Jihlava - obchvat silnice I/38 - hydrogeologický průzkum, GEOSTAR s.r.o., Brno, 1999

Silnice I/38 Jihlava - tunel, doplnění monitorovacích vrtů pro stavbu tunelu včetně pasportizace studny a výchozího měření hladin podzemní vody, GEOSTAR s.r.o., Brno, 2002

Jihlava - obchvat, tunel - Průběžná zpráva o dosavadních poznatcích geotechnického sledu za období listopad - prosinec 2002. GEOTest Brno, a. s., leden 2003

Jihlava - obchvat, tunel - Dílčí zpráva o geotechnickém dozoru a o výsledcích doplňujících geologických prací provedených na stavbě "Silnice I/38 Jihlava, obchvat, zarytá část v km 10,295 - 10,599, GEOTest Brno, a. s., duben 2003

## POZNATKY Z GEOLOGICKÉHO SLEDU A Z GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU RAŽEB SEKUNDÁRNÍCH KOLEKTORŮ V HISTORICKÉM JÁDRU BRNA V ROCE 2003

### LESSONS FROM GEOLOGICAL OBSERVATION AND GEOTECHNICAL MONITORING OF THE EXCAVATIONS OF SECONDARY COLLECTORS IN THE HISTORICAL HEART OF BRNO IN 2003

RNDr. JAROSLAV HANÁK, RNDr. OTAKAR PAZDÍREK, ING. STANISLAV RECH, GEOTEST BRNO, a. s.

#### 1. ÚVOD

Výstavba sekundárních kolektorů v historickém jádru města Brna, zahájená na začátku roku 2003, představuje ražbu a definitivní vystrojení přibližně 1600 bm podzemních liniových děl, která po svém dokončení naváží na kolektory vybudované v průběhu 90. let minulého století a rozšíří tak stávající kolektorovou síť v historickém jádru Brna, jejíž úhrnná délka bude pak činit přibližně 3400 bm. Výstavba je součástí akce Stoková síť města Brna, zahrnující kromě realizace kolektorů též rekonstrukce stok a stokových sítí v širší oblasti města Brna mimo jeho historické jádro. Dodavatelem prací je sdružení, jehož vedoucím je Subterra, a. s., a členy Metrostav, a. s., spolu se ŽS Brno, a. s., a Imos, a. s. Projektčně je celé toto dílo zajišťováno firmou AQUATIS, a. s., GEOTest Brno, a. s., provádí geologický sled ražeb sekundárních kolektorů a měření konvergenčních profilů včetně jejich nivelace.

Výstavba sekundárních kolektorů, probíhající od počátku roku 2003 v historickém jádru města Brna, byla rozčleněna do pěti níže uvedených staveb (v závorce je vyznačena úhrnná délka kolektorových tras jednotlivých staveb):

- 7. stavba: Kolektor Koblížná - Poštovská - Kozí (546 bm);
  - 8. stavba: Kolektor Sukova (104 bm);
  - 10. stavba: Kolektor Náměstí Svobody - sever, východ (280 bm);
  - 11. stavba: Kolektor Náměstí Svobody - západ, Zámečnická (236 bm);
  - 18. stavba: Kolektor Zelný trh - Starobrněnská, Petráská (429 bm).
- Trasy předmětných kolektorů jsou situovány přibližně v osách jmenovaných ulic a v určité vzdálenosti podél obvodů náměstí Svobody a Zelného trhu. Přehledná situace jednotlivých kolektorových tras je uvedena na obrázku 1.

#### 2. STRUČNÝ TECHNICKÝ POPIS PROVÁDĚNÝCH DĚL

Výstavba kolektorů - liniových podzemních děl probíhá hornickým způsobem, čímž jsou minimalizovány dopady na povrch území. Projektovaná hloubka báze kolektorů jednotlivých ražených úseků leží převážně mezi šesti až sedmi metry od povrchu terénu. Výška nadloží nad jednotlivými díly se pohybuje mezi dvěma až třemi metry, v oblasti technických komor klesá až na jeden metr. Výška výrubu na hlavních trasách je mezi 3,2 až 4,2 m a šířka 2,4 až 3,7 m. V oblasti křížení hlavních kolektorových tras jsou budovány technické komory, jejichž světlá šířka je 4,8 m až 5,4 m, délka 9 m a výška 4,8 m.

Každý postupový krok ražby je ihned zajišťován primárním ostěním. Délka postupového kroku se řídí konkrétně zastíženými geologickými a geotechnickými poměry. V oblastech s příznivými poměry je délka postupového kroku 0,8 m, s jejich zhoršením se snižuje až na 0,5 m. V běžném profilu v netlačivých zeminách je jako primární ostění osazována příhradová výztuž, v místech rozšíření pro kolektorové přípojky výztuž dlužní. Výztuže doplňuje svařovaná síť a stříkaný beton v tloušťce minimálně 15 cm. Výztuže je pokládána na patky nebo na roznášecí příčné prahy dle zastížených geotechnických poměrů. Sekundární ostění je prováděno ze stříkaného betonu vyztuženého dvěma svařovanými sítěmi. Minimální tloušťka sekundárního ostění včetně mezilehlé izolace je 20 cm. Schematický příčný řez raženým kolektorem je uveden na obrázku 2.

#### 3. GEOLOGICKÝ SLED A MONITORING

Geologický sled zahrnuje dokumentaci skutečně zastížených geologických a geotechnických poměrů v průběhu ražeb. Je prováděn makroskopickým popisem zemin zastížených v jednotlivých čelbách doplněným grafickým zákresem čelby a případně i její fotodokumentací. Četnost dokumentace ovlivňuje skutečně zastížené geologické a geotechnické poměry. Pokud jsou příznivé, je dokumentace prováděna jedenkrát týdně, při jejich zhoršení četnost dokumentace vzrůstá. Poznatky z dokumentace jsou průběžně zapisovány do stavebních deníků jednotlivých staveb, což zahrnuje schematický zákes konkrétní dokumentované čelby doplněný stručným popisem zemin, které ji tvoří, a též zhodnocením zastížených stabilitních a hydrogeologických poměrů. Jestliže dojde ke zhoršení

#### 1. INTRODUCTION

Construction of the secondary collectors in the historical heart of Brno, started in the beginning of 2003, represents an excavation and final equipment of about 1600 lm of linear underground structures, that will after completion link to the collectors constructed during last century nineties and thus expand the existing collector network in the historical heart of Brno, whose total length will then reach approximately 3400 lm. This construction is a part of the campaign "Sewerage network in Brno", beside the realization of collectors also including reconstruction of sewers and sewerage network in the broader city area outside its historical heart. A consortium led by Subterra, a.s., with participation of Metrostav, a.s. with ŽS Brno, a.s. and Imos, a.s., is the contractor. The design is provided by AQUATIS, a.s. GEOTest Brno, a.s. carries out the geological observation of the excavation of secondary collectors and measurements of convergence profiles, including their leveling.

Construction of the secondary collectors, proceeding in the historical heart of Brno since the beginning of 2003, was divided into the five following structures (in brackets see total length of collector routes of the separate structures):

- 7. structure : collector Koblížná - Poštovská - Kozí (546 lm)
- 8. structure : collector Sukova (104 lm)
- 10. structure : collector Náměstí Svobody - north, east (280 lm)
- 11. structure : collector Náměstí Svobody - west, Zámečnická (236 lm)
- 18. structure : collector Zelný trh - Starobrněnská, Petráská (429 lm)

Routes of these collectors are located more or less along axes of these streets and in certain distance around the squares Náměstí Svobody and Zelný trh. For comprehensive overview of the separate collector routes see fig. 1.

#### 2. BRIEF TECHNICAL DESCRIPTION OF THE REALIZED STRUCTURES

Construction of the collectors - linear underground structures proceeds using a mining method, which minimizes the impacts on local surface. Designed depth of the collector bottom ranges in separate mined sections mostly between six and seven meters below surface. Height of the overburden above separate segments ranges between two and three meters, in area of technical chambers is reduced to one meter. The excavated cross-section in main routes is 3,2 to 4,2 m high and 2,4 to 3,7 m wide. Technical chambers are being constructed in places of main collector route intersection, whose net width ranges between 4,8 and 5,4 m, length reaches 9 m and height 4,8 m.

Along with the progress of excavation, each advance is immediately secured with a primary lining. Length of the advance particularly depends on the encountered geological and geotechnical conditions. In sections with more favorable conditions the advance is 0,8 m long, with their deterioration it is reduced to even 0,5 m. In the common profile of non-deforming soils, lattice girders serve as a primary lining. In widened places for collector connections a mining reinforcement is used. The reinforcement is supplemented with a welded net and at least 15 cm thick shotcrete. It is underpinned at the base or at the lateral saddles based on the encountered geotechnical conditions. Secondary lining consists of shotcrete, further reinforced with two layers of welded mesh. There is a minimal thickness of 20 cm for the secondary lining including the intermediary waterproof membrane. For schematic cross section of the excavated collector see fig. 2.

#### 3. GEOLOGICAL OBSERVATION AND MONITORING

Geological observation includes the documentation of actually encountered geological and geotechnical conditions during the process of excavations. It is carried out using macroscopic description of the soils encountered at separate faces, supplemented with graphic layout of the face and possibly with its photo-documentation. Frequency of the documentation depends on actually encountered geological and geotechnical conditions. If they are favorable, documentation is prepared once a week. In case of their deterioration, frequency of the documentation

těchto poměrů oproti poměrům prognózovaným, je součástí zápisu i doporučení technických opatření k jejich eliminaci.

Monitoring zahrnuje konvergenční měření na jednotlivých hlavních ražených trasách v profilech, jejichž situování je určeno v projektové dokumentaci (hlavní a vedlejší profily), případně v místech zhoršení geologických poměrů oproti poměrům prognózovaným (mimořádné profily). Úkolem monitoringu je ověřit správnou funkci primárního ostění v průběhu ražby. Podrobně je provádění monitoringu popsáno v samostatném oddíle tohoto příspěvku.

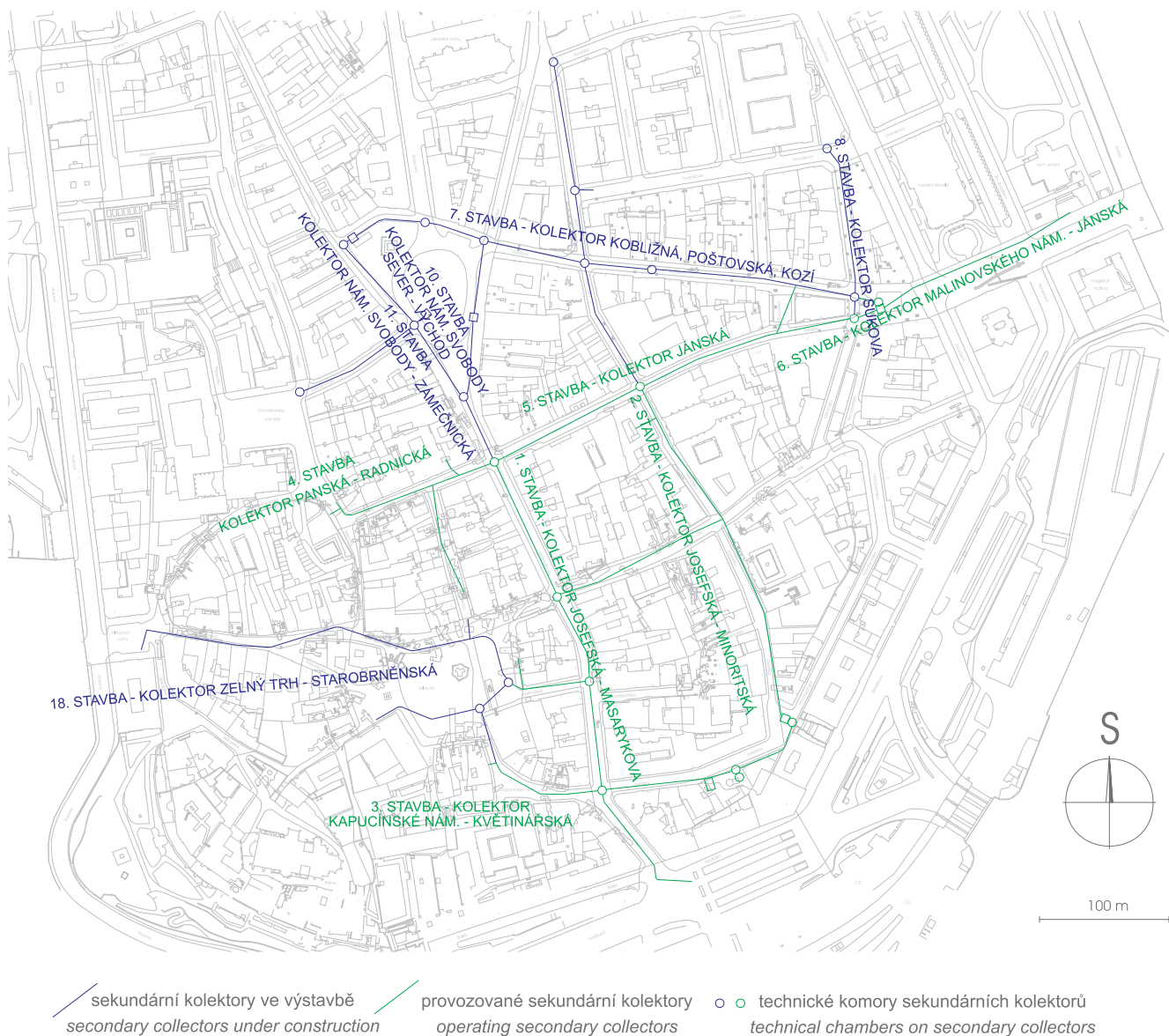
#### 4. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Kolektorová díla zastihují ve svém raženém profilu převážně zeminy kvartérního souvrství tvořené v přípoверхových částech navážkami různého charakteru, jejichž vznik je svázán s dlouhodobým a složitým stavebně historickým vývojem oblasti historického jádra Brna. Místa se vyskytují i relikty základových konstrukcí asanovaných objektů. V podloží navážek je vyvinuto polygenetické sprašové souvrství, které má charakter spraši až sprašových hlín na bázi s půdním typem. V tomto souvrství se místy nacházejí staré sklepní prostory a stoky v různém stupni asanace zasahující do profilu ražených děl. Je to zejména v prostoru Zelného trhu, kde byly budovány i ve dvou úrovních, a v jižní části náměstí Svobody. Na bázi kvartérního souvrství jsou nespojitě vyvinuty málo mocné polohy tvořené písky se šterkem a písčítými šterky s proměnlivým obsahem jemnozrné příměsi. Tyto klásktické sedimenty, příp. sprašové souvrství v místech jejich absence nasedají na povrch neogenního souvrství tvořeného vápnitým jílem spodnobádenského stáří. Povrch masívu neogenního jílu je zvlněný. Hlavní kolektorové trasy jej zastihují převážně ve spodních třetinách svých ražených profilů. Výjimkou jsou oblasti severní části náměstí Svobody, ulice Koblíž-

ris. Information from the documentation is being continuously recorded in the building journals of separate structures, which also include schematic layout of the given documented face, supplemented with a brief description of soils that it comprises as well as an evaluation of encountered stability and hydrogeological conditions. In case the actual conditions are worse than estimated, a recommendation for technical measures leading to their elimination is part of the record. The monitoring includes convergence measurements in separate main mined routes in profiles whose location is determined by the design documentation (main and secondary profiles), eventually also in places with worse geological conditions than estimated (special profiles). It is the aim of monitoring to verify correct function of the primary lining during the process of excavation. The process of monitoring is further described in a separate section of this article.

#### 5. GEOLOGICAL CONDITIONS

Collector structures encounter in their excavated profile mostly soils of quaternary strata, in the by-surface sections consisting of fills of various type, whose formation is connected to the long-term and complicated engineering development of the historical heart of Brno. Locally also the relicts of foundation frameworks of reconstructed structures occur. Underlay of the fills consists of polygenetic loess strata, which has a character of loess or loess loams based on the type of soil. Old cellar structures and sewers in various stages of reconstruction occur in these strata, interfering with cross profile of the mined works. It especially concerns the area around Zelný trh, where these had been constructed even in two levels, and southern part of Náměstí Svobody. On the basis of quaternary strata, thin layers, consisting of sands with gravel and sandy gravels with variable content of fine-grained mixture, have discontinuously developed. These clastic sediments, even-



Obr. 1 Přehledná situace kolektorových tras  
 Fig. 1 Illustrative overview of the collector routes

ná a západní půle Zelného trhu, kde neogenní masív přechází do relativně široké depresní struktury východozápadního směru. Povrch neogenního masívu je v uvedených oblastech pod úrovní báze ražených profilů.

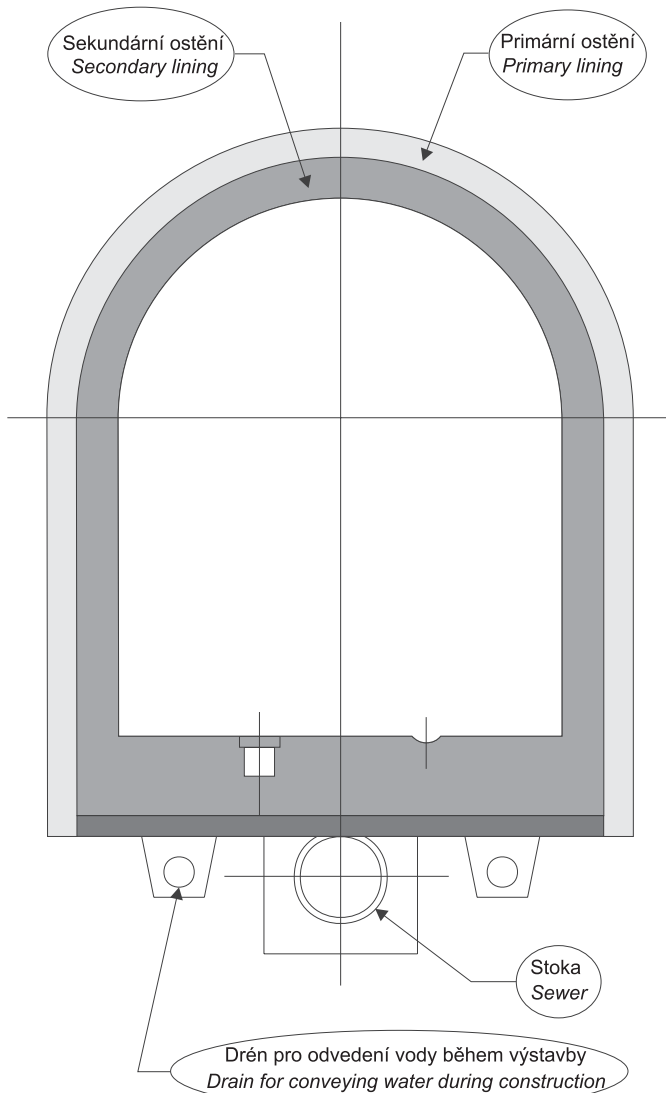
Hladina podzemní vody vytváří souvislou zvodně pouze v oblasti výše zmíněné deprese (údolnice). Její vydatnost je relativně malá, ale její napjatost způsobuje průsaky, místy i výrony z báze ražených děl. V oblastech mimo zmíněnou depresi je zvodně zastihována pouze ojediněle v nespojitěm vývoji projevujícím se velmi slabými výrony nebo průsaky na rozhraní neogén-kvartér. Mimo tyto zvodně byly zastihovány i lokální zvodně antropogenního původu vyvolané průsaky nebo výrony z vadných vodovodních řádů, přípojek nebo kanalizačních těles.

## 5. GEOTECHNICKÉ POMĚRY

Prognózu geologických a geotechnických poměrů pro ražené úseky jednotlivých kolektorových staveb zpracoval GEOTest Brno, a. s., v roce 2001. Byly pro ni využity všechny dostupné poznatky a údaje z celého prostoru historického jádra Brna, doplněné údaji z kopaných sond prováděných pro průzkum brněnského podzemí a poznatky z geologického sledu dříve ražených kolektorových tras. Zhodnocení geotechnických poměrů pro ražbu jednotlivých sekundárních kolektorů bylo založeno na zpracování účelové geotechnické rajonizace - byly vyčleněny čtyři geotechnické rajony:

**GEOTECHNICKÝ RAJON A** představoval úseky s předpokladem ražby v příznivých geotechnických poměrech. Bylo v nich předpokládáno relativně stejnorodé zeminné prostředí s dobrou stabilitou čelby.

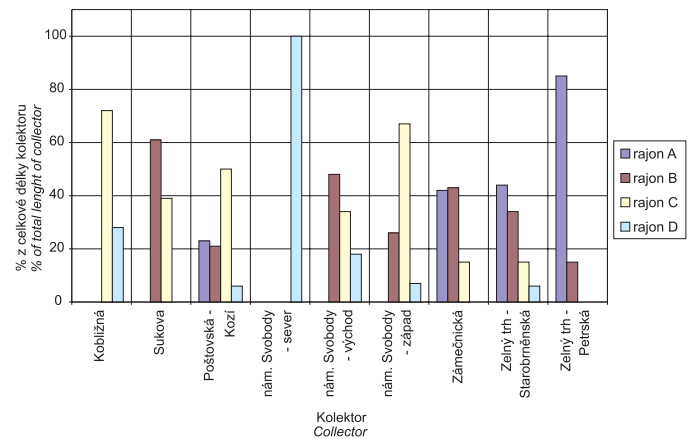
**GEOTECHNICKÝ RAJON B** byl vyčleněn pro úseky, v nichž byly očekávány mírně zhoršené podmínky pro ražbu vyvolané výskytem navážek ve větší části raženého profilu, případně zastihnutím ojedinělých podzemních prostor v úrovni trasy díla. V tomto rajonu bylo nutné očekávat zpomalení postupu razicích prací a podle konkrétního zastihnutí negativního fenoménu i použití technických opatření pro jeho eliminaci.



Obr. 2 Schematický příčný řez raženým kolektorem  
Fig. 2 Schematic cross section through a mined collector

usually loess strata, in places of their absence lay of the surface of Neocene strata, consisting of lower-Baden limey clays. Surface of the massif of Neocene clay is undulated. Main collector routes encounter it mostly within lower thirds of their excavated profiles. With the exception of sections in northern part of Náměstí Svobody, Koblížná street and western half of Zelný trh, where the Neocene massif passes into relatively wide depressed structure of east-western direction. Surface of the Neocene massif occurs in the given areas below the level of bottom of the excavated profiles.

Level of groundwater forms a consistent ground-water body only in the area of the aforementioned depression (valley). Its yield was relatively small, but the water pressure causes leaks, locally even effluences from the bottom of excavated works. In areas outside this depression the watering occurs only exceptionally and discontinuously in form of very weak effluences or leaks at the interface Neocene-quaternary. Beside these ground-water bodies, also local ground-water bodies of anthropogenic origin, caused by effluences or leaks from defective water mains, were encountered.



Obr. 3 Poměrné zastoupení geotechnických rajonů v trasách kolektorů  
Fig. 3 Proportional representation of the geotechnical zones in the collector routes

## 5. GEOTECHNICKÉ POMĚRY

Estimation of geological and geotechnical conditions for the excavated sections of separate collector structures was elaborated by GEOTest Brno, a.s. in 2001. All available knowledge and data from the entire area of the historical heart of Brno had been used, supplemented with data from test pits realized for the exploration of Brno underground as well as knowledge from geological observation of the previously excavated collector routes.

Evaluation of geotechnical conditions for the excavation of separate secondary collectors was based on elaboration of practical geotechnical segmentation - four geotechnical segments were put forward:

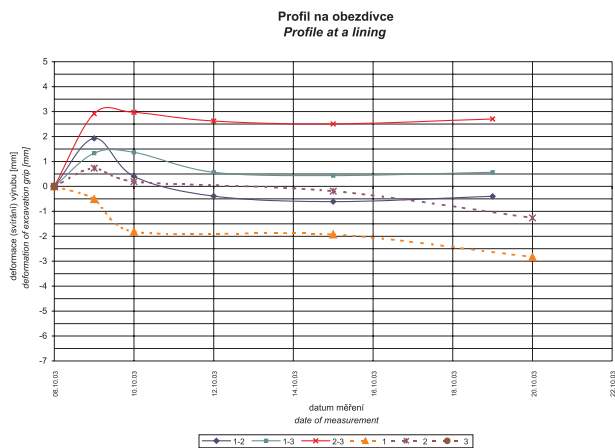
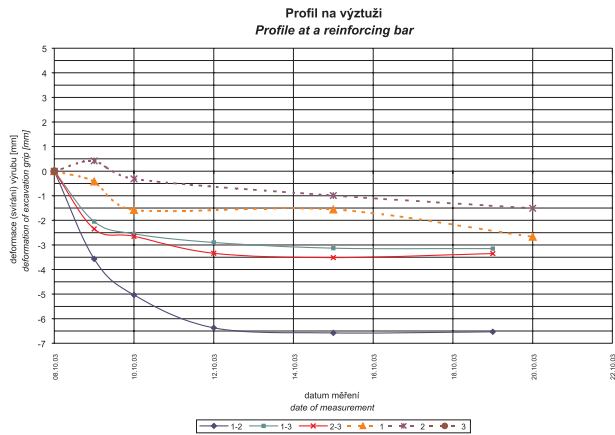
**GEOTECHNICKÝ SEGMENT A** represented sections with estimated excavation in favorable geotechnical conditions. A relatively homogeneous soil environment with good stability of the face was expected.

**GEOTECHNICKÝ SEGMENT B** was meant for sections that expected slightly worsened conditions for excavations, caused by the occurrence of fills in prevailing part of the excavated profile, or eventually occurrence of isolated underground rooms in the level of works. In this segment, it was necessary to expect slower progress of the excavation works and, according to the particular encountered negative phenomenon, to apply technical measures for its elimination.

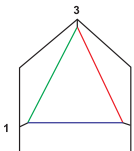
**GEOTECHNICKÝ SEGMENT C** was characterized by sections with higher frequency and higher intensity of negative phenomena with impact on continuity of the excavation progress when compared with the previous segment. This type of segment expected deteriorated conditions for the mining works, requiring special technical measures for the excavation itself as well as support of the structure.

**GEOTECHNICKÝ SEGMENT D** included sections with highly deteriorated condition for excavation with high probability of an extraordinary event inclined to overbreaks all the way to surface. This segment was considered for areas with occurrence of groundwater (prior to the start of excavation works) in upper parts of the excavated profile and its by-ceiling area. Due to the estimated low stability of the excavation it was necessary to calculate with minimal length of advances, respectively with sequential excavation. It was also necessary to continuously secure the by-ceiling area, eventually even sides of the structure, and to install lateral steel sills in each advance.

Schematic geotechnical cross sections were elaborated for separate collector structures in their longitudinal axes. The cross sections formulated estimation of geological and geotechnical conditions including the determination of geotechnical segments. For estimated proportional representation of the geotechnical segments in separate collector routes see Fig. 3.



Schema profilu  
Scheme of a profile



Legenda:  
Legend:

- 1-2 měřené deformace  
deformation measured
- 1-3
- 2-3
- 1 relativní změna výšky  
relative height changes
- 2
- 3

Obr. 7 Příklad vyhodnocení konvergenčního a nivelačního měření v kolektoru Koblížná

Fig. 7 Example of evaluation of the convergence and leveling measurement in the Koblížná collector

**GEOTECHNICKÝ RAJON C** charakterizoval úseky s vyšší četností a vyšší intenzitou negativních fenoménů ovlivňujících plynlost razicího postupu, uvedených u předchozího rajonu. Pro tento typ rajonu byly očekávány zhoršené podmínky pro razicí práce, vyžadující speciální technická opatření jak pro ražbu, tak i vystrojení díla. Na větší části úseku tohoto rajonu bylo nutné počítat i se zajišťováním přístupů pro bezpečný postup razicích prací.

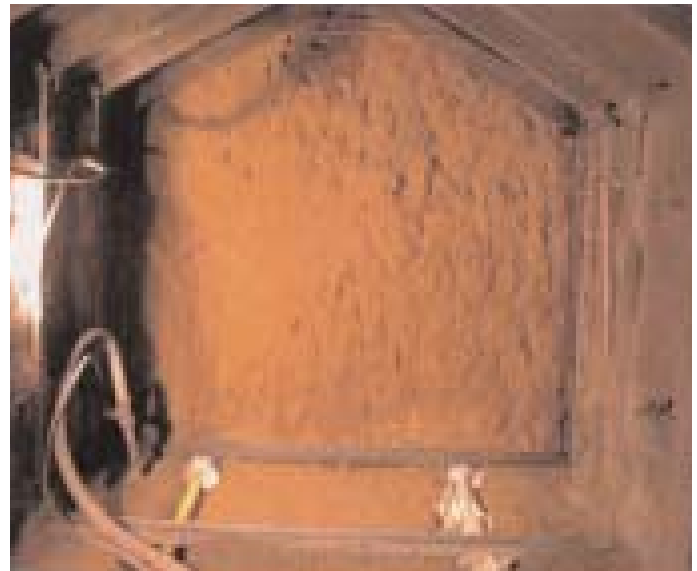
**GEOTECHNICKÝ RAJON D** zahrnul úseky se silně zhoršenými podmínkami pro ražbu, kde byla vysoká pravděpodobnost mimořádné události s propagací nadvýlomů až na povrch území. Tento rajon byl uvažován v oblastech s výskytem hladiny podzemní vody (před zahájením razicích prací) v horních částech raženého profilu nebo v jeho přístropí. Pro předpokládanou sníženou stabilitu výrubu bylo nutné uvažovat s minimalizací délky postupového kroku, případně s ražbou členěným profilem. Též bylo nezbytné počítat s nutností kontinuálně zajišťovat přístropí, případně i boky díla a v každém postupovém kroku osazovat příčné ocelové prahy.

Pro jednotlivá kolektorová díla byly zpracovány schematické geotechnické řezy v jejich podélných osách. V řezech byla vyjádřena prognóza geologických a hydrogeologických poměrů včetně vymezení geotechnických rajonů. Prognóza poměrného zastoupení geotechnických rajonů v trasách jednotlivých kolektorů je uvedena na obr. 3.

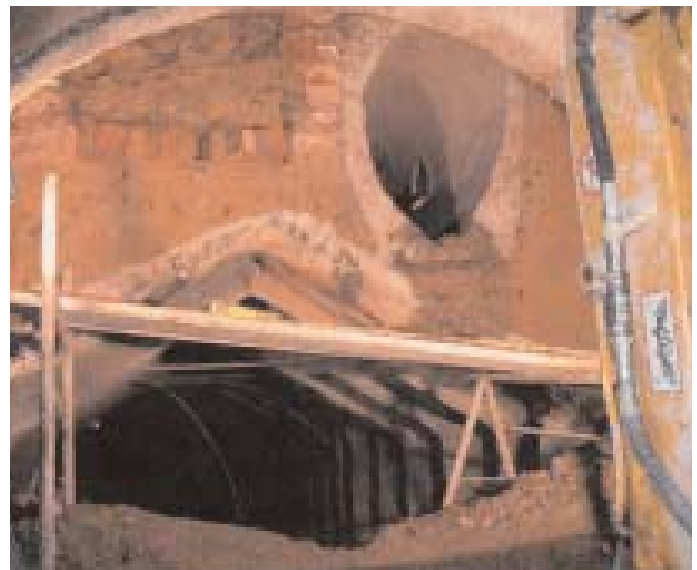
## 6. GEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ POZNATKY Z RAŽEB KOLEKTORŮ V ROCE 2003

Kolektor Koblížná – Poštovská – Kozí (546 bm, 7. stavba)

V roce 2003 byla vyraženy hlavní trasy kolektorů Koblížná a Poštovská. U kolektoru Koblížná byla ražba provedena zmenšeným profilem (obr. 4), neboť v oblas-



Obr. 4 Kolektor Koblížná, ražba zmenšeným profilem  
Fig. 4 Koblížná collector, excavated using reduced profile



Obr.5 Kolektor Koblížná, dobírka kaloty  
Fig.5 Koblížná collector, construction of calotte



Obr.6 Měření konvergence v kolektoru Kozí  
Fig.6 Convergence measurement in the Kozí collector

ti budoucí kaloty procházela stávající uliční stoka relativně velkých rozměrů. Po vyražení celé trasy ve zmenšeném profilu byla vybudována nová kanalizace pod počvou štoly, do které byla stávající kanalizace převedena, a zahájena dobírka kaloty na projektovaný profil (obr. 5). Ražba v kolektoru Koblížná probíhala převážně ve sprašových zeminách se stálými průsaky z počvy, což vyžadovalo pečlivé provádění odvodňovacích drénů. Geotechnické poměry pro ražbu byly na značné části ražené trasy zhoršené, místy až silně zhoršené. Snížená stabilita čela i stropu vyžadovala jeho průběžné zajišťování jehlováním a pažnicemi Union. Kolektor Poštovská zastihl ve svém raženém profilu sprašové zeminy, půdní typy a málo mocné pískové a štěrkové uloženiny a neogenní jílu. Povrch neogenního jílu měl elevující tendenci a přibližně od poloviny celkové délky tohoto kolektoru tvořil celou plochu výrubu. Geotechnické poměry byly v první půli trasy kolektoru zhoršené, způsobené průsaky jak z počvy díla, tak i z rozhraní neogén-kvartér. Ve druhé půli úseku, kde byla celá čelba tvořena neogenním jílem, byly geotechnické poměry převážně příznivé.

#### Kolektor Sukova (104 bm, 8. stavba)

Tento kolektor byl již v celé trase vyražen. Geotechnické poměry zde byly převážně příznivé, ojediněle mírně zhoršené, lokálně až silně zhoršené. Profil výrubu byl tvořen v horních částech sprašovými zeminami, místy i navážkami, ve spodních částech byly zastíženy pískové a štěrkové uloženiny. V přirozeně uložených zeminách nebyla zastížena zvodně. Pouze ve střední části trasy, kde bylo zastíženo zvodnění vyvolané úniky z vadných vodovodních přípojek, došlo k výraznému zhoršení geologických poměrů. Úsek bylo nutné vyzmáhat členěným výrubem.

#### Kolektor Náměstí Svobody - sever, východ (280 bm, 10. stavba)

V období roku 2003 byla vyražen hlavní trasa kolektoru Náměstí Svobody - sever. Ražba probíhala převážně ve sprašových zeminách a v celé délce trasy byl stálý průsak z báze, místy i ze spodní třetiny čelby. V souladu s prognózou byly geotechnické podmínky pro ražbu v celé trase silně zhoršené. Silně snížená stabilita výrubu vyžadovala kontinuální zajišťování čelby, stropu i boků díla jehlováním.

#### Kolektor Náměstí Svobody - západ, Zámečnická (236 bm, 11. stavba)

V trasách těchto kolektorů, jejichž ražby na hlavních úsecích tras stále probíhají, byly zastíženy sprašové zeminy a půdní typy překrývající málo mocné pískové a štěrkové uloženiny nebo nasedající přímo na neogenní masív. Povrch masívu se nacházel ve spodní půli až spodní třetině čelby, byl zvlněný a bylo na něj vázáno slabé zvodnění. Stabilita výrubu byla převážně snížená. Pro ražbu převažovaly zhoršené podmínky. Místně, v úsecích navazujících na kolektor Náměstí Svobody - sever, byly podmínky silně zhoršené, umocňované úniky z vadných kanalizačních a vodovodních přípojek

#### Kolektor Zelný trh - Starobrněnská, Petřská (429 bm, 18. stavba)

Ražba tohoto kolektoru byla v roce 2003 na hlavních trasách ukončena. Lze konstatovat, že ze všech výše stručně popisovaných tras zde byly geotechnické podmínky pro ražbu relativně nejméně problematické s převahou příznivých faktorů. Bylo to dáno převahou sprašových zemin ve výrubu, který byl převážně stabilní a suchý. Určité zhoršení bylo zaznamenáno pouze v oblastech, kde byly zastížovány staré sklepní prostory nebo cihelná barokní stoka vyplněná navážkou. Další komplikace se objevily ve střední části kolektoru Starobrněnská, kde do ražby trasy zasáhla stará průzkumná díla (štoly) vyplněná popílkocementem a též dílčí elevační struktura neogenního masívu se slabými průsaky, což si vyžádalo osazování příčných ocelových pasů v každém postupovém kroku.

## 7. KONVERGENČNÍ MĚŘENÍ

Chování ostění (resp. dodržování technologického postupu při výstavbě a vystrojení) ve štolách kolektoru je ověřováno měřeními konvergence na hlavních a vedlejších profilech v příčném směru.

Hlavní profily v kolektoru jsou osazeny šesti body - třemi body fixovanými na obloukovou výztuž a třemi body osazenými do betonu primární obezdívky uprostřed následujícího postupu ražby mezi rámy pevné výztuže. Sobě odpovídající body na výztuži a obezdívce jsou umístěny ve stejné výšce. Body jsou osazeny při vrcholu klenby profilu a symetricky v jeho svislých stěnách v místech největšího ohybového momentu (tj. cca 80 - 90 cm nad úrovní počvy v odvislosti od velikosti profilu díla).

Vedlejší profily v kolektoru jsou osazeny obdobným způsobem, ale pouze třemi body na tuhou výztuž. Měření konvergence je doplněno měřením metodou velmi přesné nivelace na spodních bodech jednotlivých konvergenčních profilů. Měření je časově rozloženo tak, aby byl dokumentován celý razící cyklus od počátku ražby - od postavení obloukové výztuže a nástřik primární obezdívky až po uzavření počvy kolektoru. Výchozí (základní) měření na konkrétním profilu je prováděno vždy bezprostředně po nástřiku primární obezdívky postupového kroku (do čtyř hodin). Následující měření se provádí po 24 hod a další v inter-

## 6. GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL KNOWLEDGE FROM COLLECTOR EXCAVATIONS IN 2003

#### Collector Koblížná - Poštovská - Kozí (546 lm, 7. structure)

Main routes of the Koblížná and Poštovská collectors were excavated in 2003. Reduced excavation profile was used in the Koblížná collector, as a relatively large existing street sewer was passing through area of the future calotte. Following excavation of the entire route in reduced profile, new sewer system was constructed below the gallery floor, into which there were the existing sewers diverted, and then final excavation into the designed profile began (fig. 5). Excavation in the Koblížná collector proceeded mainly within loess soils with permanent leaks from the floor, which required consistent application of drainage. Geotechnical condition for the excavation were worsened at significant part of the excavated route, locally even strongly deteriorated. Lower stability of the face as well as top of the excavation required its continuous support using forepoling and Union sheet piles. The Poštovská collector encountered in its excavated profile loess soils, soil types and narrow sandy and gravel sediments and Neocene clay. Surface of the Neocene clay had an elevating tendency and approximately from half of the total length of this collector formed the entire area of the face. Geotechnical condition in the first half were also worsened due to leaks both from the floor and the interface Neocene-quatarnary. Second half of the section, where the entire face consisted of Neocene clay, experienced rather favorable geotechnical conditions.

#### Collector Sukova (104 lm, 8. structure)

This collector had already been excavated in its entire length. Geotechnical conditions here were mostly favorable, exceptionally slightly worsened, locally even strongly deteriorated. Profile of the excavation consisted of loess soils and locally fills in the upper sections, and sandy and gravel sediments in the lower sections. No water-bearing bodies were encountered in naturally sedimented soils. Only middle part of the route experienced watering due to the leaks from defective water mains, and therefore significant deterioration of the geological conditions took place. It was necessary to overcome this section using sequential excavation.

#### Collector Náměstí Svobody - north, east (280 lm, 10. structure)

Main route of the Náměstí Svobody - north collector was excavated in 2003. The excavation proceeded mainly in loess soils and in the entire length experienced permanent leaks from the bottom, locally also from lower third of the face. Geotechnical conditions for excavation were in the entire length strongly deteriorated as estimated. Severely reduced stability of the excavation required continuous support of the face, crown as well as sides of the work by forepoling.

#### Collector Náměstí Svobody - west, Zámečnická (236 lm, 11. structure)

Routes of these collectors, whose excavation in main sections is still underway, experienced loess soils and soil types covering thin sand and gravel sediments or settling directly on the Neocene massif. Surface of the massif lied in lower half or lower third of the face, it was undulated and a low saturation was bound to it. Stability of the excavation was mostly reduced. Worsened conditions for the excavation prevailed. Locally in sections of connecting to the collector Náměstí Svobody - north, strongly deteriorated conditions were encountered, still multiplied by leaks from defective sewer and water feeders.

#### Collector Zelný trh - Starobrněnská, Petřská (429 lm, 18. structure)

Excavation of this collector in the main routes was completed in 2003. It can be stated that out of all the previously briefly described routes, this excavation experienced the relatively least problematic geotechnical conditions with predominantly favorable factors. It was given by the prevalence of loess soils in the cut, which was mostly stable and dry. Some deterioration was only recorded in areas where old cellar structures or Baroque brickwork sewer full of fill were encountered. Further complications appeared in central part of the Starobrněnská collector, where old exploratory works (galleries) filled with cinder-cement or a partially elevating Neocene massif with low leaks penetrated into the mined route, and that required installation of lateral steel girdles in each advance.

## 7. CONVERGENCE MEASUREMENTS

Behavior of the lining (i.e. compliance with the technological procedure during construction and support) in the collector galleries is being verified by convergence measurements of main and secondary profiles in lateral direction.

Main profiles in the collector are equipped with six points - three points fixed to the arch reinforcement and three points set into concrete of the primary lining in the middle of the following excavation advance between frames of the solid reinforcement. Mutually correspondent points in the reinforcement and lining are located in the same level. Points are installed at the top of the vault profile and symmetrically in its vertical walls in places of the largest bending moment (i.e. app. 80-90 cm above the level of floor based on size of the structure's profile).

Secondary profiles in the collectors are equipped in a similar way, but only using three points in the solid reinforcement. Convergence measurement is supplemented with measurement using the method of very accurate leveling at lower points of the separate convergence profiles.



valech 24, 48, 72, a 96 hod. To představuje soubor celkem 6 měření v průběhu 11 dní. V případě zjištění neustáleného stavu po ukončení tohoto cyklu jsou po dohodě s objednatelům operativně realizována další kontrolní opakovaná měření. Kromě významně převažujícího měření konvergence na výše uvedených typech profilů ve štolách kolektorů je měření konvergence prováděno rovněž v průběhu hloubení těžních šachet (zpravidla obdélníkového půdorysu). Měřicí body jsou zde osazovány na středy stran horizontálních ráků výztuže. V průběhu hloubení a výstavby technických komor (technologicky velice náročných) jsou zde realizovány 2 vertikální profily sestávající z pěti bodů umístěných v kalotách, které jsou postupně doplněny párem bodů ve spodní části komory. Časový režim těchto měření je shodný s režimem měření ve štolách.

Souběžně s konvergenčními měřeními ve štolách kolektorů a v technických komorách je prováděno i výškové zaměření dvojic spodních bodů metodou velmi přesné nivelace. Tato měření uvnitř ražených děl jsou doplňována sledováním chování povrchu terénu, rovněž metodou velmi přesné nivelace. Sledované body na povrchu jsou osazeny v předstihu před ražbou v místech konvergenčních profilů a na vybraných objektech v jejich blízkosti. Tato měření (zajišťovaná firmou INSET, s. r. o.) jsou prováděna jak v předstihu (dva až jeden měsíc před průchodem čelby), tak v průběhu ražby v návaznosti na měření profilů v díle.

Pro realizování měření konvergence byl GEOTestem Brno zvolen pásmový extenzometr (výrobce SISGEO s. r. l., Itálie). Tento přístroj je vybaven 15 m dlouhým kalibrovaným ocelovým pásmem a mikrometrem o rozsahu 30 mm pro odečet změn délky s rozlišovací schopností 0,01 mm. Základní nastavení pásma při základních odečtech je po 25 mm. Aby byly změny vzdáleností odečítány vždy při stejné napínací síle (80 N), jsou na pevné a pohyblivé části tělesa přístroje vyznačeny dvě dvojice rysek, které musí pro správný odečet koincidovat. Vzhledem k tomu lze skutečnou přesnost odečítání relativních změn deformací stanovit na  $\pm 0,1$  mm, což je pro realizovanou měření dostačující (rozlišovací schopnost zařízení i přesnost odečtu jsou lepší, než je požadováno projektem). Případná osobní chyba měření je minimalizována (eliminována) tím, že měření na jednotlivých profilech jsou realizována vždy pouze jedním pracovníkem. Naměřené délkové změny jsou při vyhodnocování korigovány vůči kalibračním měřením prováděným vždy před a po ukončení série měření. K tomu slouží kalibrační rám, dodávaný výrobcem. Při výpočtu délkových změn je mimoto brána i korekce na aktuální okolní teplotu prostředí, která je měřena digitálním teploměrem. Použití přístroje je dokumentováno na obr. 6.

Měření metodou velmi přesné nivelace na bodech umístěných při patách jsou prováděna digitálním nivelačním přístrojem Zeiss DiNi 12T s použitím invarových kódovaných latí délky 2 m a invarových kódovaných pásků délky 0,5 m. Při použití tohoto přístroje je standardní odchylka na 1 km nivelace 0,3 mm. Měření jsou prováděna z výchozích bodů výtčovací sítě kolektorů, jež byly výškově kontrolovány. Na základě dosud realizovaných měření lze odvodit, že skutečné odchylky v jednotlivých pořadích se pohybovaly v mezích od 0,0002 m do 0,0007 m.

Výsledky jak konvergenčních, tak i geodetických měření jsou operativně sdělovány zhotovitelům jednotlivých úseků kolektorových staveb formou zápisů do stavebních deníků. Protokoly o výsledcích měření včetně grafického výstupu

*The measurement is so scheduled for the entire cycle to be documented from the beginning of excavation - from construction of the arch reinforcement and spraying of the primary lining to closing of the collector floor. Original (basic) measurement in the particular profile is always carried out immediately upon shooting the primary lining of the advance (within 4 hours). Further measurements then follow with a time difference of 12 hrs, 24 hrs, 48 hrs, 72 hrs and 96 hrs (i.e. the whole set comprises 6 measurements within the course of 11 days). In case unstable conditions are revealed after completing these series of measurements, more repeated controlling measurements are flexibly carried out in accord with the client.*

*Beside the significantly prevalent convergence measurement for the aforementioned types of profiles in collector galleries, the convergence measurement is also carried out during the process of sinking of mining shafts (usually of rectangular shape). Measuring points are installed in the middle of sides of horizontal frames of the reinforcement. In the process of excavation and construction of technical chambers (technologically very complex), two vertical profiles are realized, each consisting of five points located in calottes, which are gradually supported by a pair of points in lower part of the chamber. The time schedule for these measurements is the same with the ones in galleries.*

*Along with convergence measurements in collector galleries and technical chambers, elevation measurements of pairs of lower points are realized using the method of very accurate leveling. Such measurements inside the excavated works are supported by observation of the surface terrain behavior, also using the method of very accurate leveling. Observed points at the surface are installed in advance before the excavation in places of convergence profiles and in selected structures in their vicinity. These measurements (provided by INSET, s.r.o.) are carried out both in advance (two and one months before passage of the face) as well as during the process of excavation in connection to measurement of profiles in the structure.*

*For realization of the convergence measurement, GEOTest Brno selected a tape extensometer (manufactured by SISGEO, s.r.l., Italy). This machine is equipped with a 15 m long calibrated steel tape and a micrometer with range of 30 mm for the reading of length differences with a 0,01 mm resolution. There is a primary setting of the tape of 25 mm by basic readings. In order for the length differences to be always deducted by the same tensile force (80 kN), two pairs of adjustment lines are marked on the solid and mobile parts of the machine body and they have to coincide to get the correct reading. With regards to this fact, actual accuracy of reading of the relative deformation differences can be determined as  $\pm 0,1$  mm, which is satisfactory for the realized measurements (resolution of the machine as well as accuracy of the reading are still better than required by the design). Potential human error in the measurement is minimized (eliminated) by the fact that measurements within separate profiles are always realized by a single worker. Measured length differences are during evaluation adjusted to the calibration measurements realized always before and after completion of the series of measurements. This is enabled by the calibration frame, supplied by the manufacturer. Calculation of the length differences is moreover adjusted to actual ambient temperature, measured using a digital thermometer. Use of the instrument is documented by Fig. 6.*

**Tabulka 1**  
**Table 1**  
**Přehled počtu realizovaných konvergenčních profilů na jednotlivých stavbách**  
**Overview of the number of realized convergence profiles at separate structures**

stavba: <i>Structure:</i>	úsek: <i>Section:</i>	počet měřených objektů (dle typu): <i>number of measured structures (for type)</i>				osazených bodů celkem: <i>installed points total :</i>
		HP	VP	TŠ	TK	
7.stavba <i>7.structure</i>	Kobližná - Poštovská - Kozí <i>Kobližná - Poštovská - Kozí</i>	15	11	2	0	135
8.stavba <i>8.structure</i>	Sukova <i>Sukova</i>	4	2	0	0	30
10.stavba <i>10.structure</i>	Náměstí Svobody - sever,východ <i>Náměstí Svobody - north, east</i>	6	9	2	2	85
11.stavba <i>11.structure</i>	Náměstí Svobody - západ, Zámečnická <i>Náměstí Svobody - west, Zámečnická</i>	5	8	2	2	76
18.stavba <i>18.structure</i>	Zelný trh - Starobrněnská, Petrská <i>Zelný trh - Starobrněnská, Petrská</i>	8	24	4	0	146
<b>celkem: total:</b>		<b>38</b>	<b>54</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>472</b>

Vysvětlivky:  
*Legend :*  
HP - hlavní profil / *main profile*  
VP - vedlejší profil / *secondary profile*  
TŠ - těžní šachta / *mining shaft*  
TK - technická komora / *technical chamber*

jsou pak objednateli průběžně předávány vždy následující den po provedených měřeních. Tento způsob komunikace zajišťuje, že stavba může operativně reagovat na zjištěné skutečnosti a v případě nutnosti (deformací vyšších než projekt povoloval) je schopna přistoupit k okamžitým eventuálním nápravám jakéhokoliv druhu.

Rekapitulace konvergenčních měření dosud realizovaných na jednotlivých stavbách je uvedena v tabulce čís. 1.

Z uvedeného přehledu jsou zřejmé značný rozsah a intenzita prováděných prací (celkem zatím bylo provedeno měření na více než 100 objektech, úhrnem více než 2900 odečtů měřených délek). Je jasné, že při režimu souběžného a (téměř) nepřetržitého provozu na všech stavbách jsou kladeny značné nároky i na koordinaci měřících prací.

Příklad vyhodnocení měření průběhu deformací profilu štoly je uveden na obr. 7. Na uvedeném příkladě je znázorněn průběh deformací na hlavním profilu (tj. trojice bodů je osazena na pevné výztuži, analogická trojice bodů je osazena v obezdívce). Průběh deformací v profilu na pevné výztuži lze pokládat za charakteristický. Na obrázku jsou rovněž znázorněny průběhy nivelačního měření. Mírný pokles celého tělesa kolektoru v úvodní fázi měřicího cyklu lze rovněž pokládat za charakteristický.

Přípustné hodnoty konvergenzí jsou pro jednotlivé stavby (resp. úseky staveb s přihlédnutím ke konkrétním předpokládaným geotechnickým podmínkám) stanoveny projektem, pro většinu případů je maximální povolená konvergenze (sevření) ve směru vodorovném stanovena na hodnotu 15 mm, ve směru svislém na hodnotu 10 mm.

Na základě dosud provedených měření lze konstatovat, že zjištěné hodnoty konvergenze v žádném případě nepřekročily meze stanovené projektem. Statistický přehled četnosti velikosti maximálních hodnot naměřených konvergenzí ve směru vodorovném a svislém, doplněný o obdobným způsobem vyhodnocená nivelační měření, je uveden v tabulce 2. Pro větší názornost jsou stavby rozděleny do skupin budovaných stejnou technologií.

Z tabulky čís. 2 je zřejmé, že naprostá většina zjištěných deformací nepřekročila velikost 8 mm. Podrobnější vyhodnocení a analýza těchto údajů s přihlédnutím k výše uvedené rajonizaci staveb budou provedeny po ukončení veškerých měření.

## ZÁVĚR

Secundární kolektory v historickém jádru města Brna, jejichž výstavba byla zahájena v roce 2003, představují rozsáhlý a technicky velmi náročný komplex prací. Při jeho realizaci má důležité místo i geotechnický sled a monitoring ražeb jednotlivých kolektorů. Získané poznatky potvrzují dobrý soulad mezi prognózovanými a skutečně zastihovanými geologickými a geotechnickými poměry v dosud vyražených úsecích. Konvergenční měření a měření metodou velmi přesné nivelace poskytují v průběhu stavby významné informace o chování ostění a umožňují průběžně posuzovat dodržování technologie a kvalitu provedených prací. V případě zjištěných vyšších hodnot jsou tato měření podkladem k operativní úpravě technologie, případně přijetí vhodných technologických opatření.

RNDr. Jaroslav Hanák, GEOtest Brno, a. s.

Šmahova 112

659 01 Brno

tel. 548 125 336, mobil 724 036 592, fax 545217 979

Measurement using the method of very accurate leveling at points located at the bases are realized using the digital leveling device Zeiss DiNi 12T with the use of 2 m long coded invar rods and 0,5 m long coded invar tapes. There is a standard deviation of 0,3 mm per 1 km for the use of this device. Measurements are carried out from original points of the marked network of collectors, which had been vertically controlled. Based on the already realized measurements it can be assumed that actual deviations in separate groups ranged between 0,00002 and 0,0007 m. The results of both convergence and geodetic measurements are flexibly submitted to realizers of the separate sections of collector structures by means of entries into the building journals. Protocols on results of the measurements including graphic output are then continuously handed over to the client always the following day after carrying out the measurements. Such method of communication ensures that the construction can flexibly react to revealed facts and in case of necessity (higher deformations than the design allowed) able to adopt immediate remedial measures of any kind.

For the overview of convergence measurements so far realized at separate structures see Table 1.

The large extent and intensity of the realized works (altogether measurements at more than 100 structures were realized with total more than 2900 readings or measured lengths) are obvious from this overview. It is clear that the regime of simultaneous and almost nonstop operation at all structures required high demands on the coordination of measurement works.

For an example of evaluation of deformation measurement of a gallery profile see Fig. 7. This example illustrates the course of deformations in the main profile (three points are installed on the solid reinforcement, analogical three points are installed in the lining). Course of deformations in profile on the solid reinforcement is considered characteristic. Also courses of the leveling measurement can be seen on the figure. Slight descent of the entire collector body in initial phase of the measurement cycle can be considered characteristic as well.

Acceptable values of convergence for individual structures (respectively sections of structures with regards to particular estimated geotechnical conditions), are determined by the design. In most cases there is a maximum allowed convergence (constriction) of 15 mm in the horizontal direction and 10 mm in the vertical direction.

Based on the so far realized measurements it can be stated that acquired values of convergence never exceeded the design limits. For statistical overview of size frequency of the maximum values of measured convergence in both horizontal and vertical direction, supplemented with similarly evaluated leveling measurements, see Table 2. For better illustration the structures are separated into groups constructed using the same technology.

From table 2 it is obvious that vast majority of the revealed deformations did not exceed the size of 8 mm. More detailed evaluation and analysis of these data, also with regards to the aforementioned segmentation of structures, will be elaborated upon completion of all measurements.

## CONCLUSION

Secondary collectors in the historical heart of Brno, whose construction started in 2003, represents an extensive and technically very challenging complex of works. During its realization, there is an important role for geotechnical observation as well as monitoring of excavation of the separate collectors. Acquired knowledge so far confirms the satisfactory harmony between estimated and actually encountered geological and geotechnical conditions in the excavated sections. Convergence measurements and measurements using the method of very accurate leveling sulmit during the construction some important information about behavior of the lining and thus enable to constantly assess compliance of technologies and quality of the realized works. In case higher values are acquired, these measurements then act as a basis for the flexible adjustment of technology, or alternatively for adoption of suitable technological measures.

**Tabulka 2**  
**Table 2** **Přehled četnosti velikosti maximálních naměřených hodnot**  
**View of size frequency of the maximum measured values**

[mm]	7. a 8. stavba 7. and 8. structure			10. a 11. stavba 10. and 11. structure			18. stavba 18. structure	
	horizont. horizon.	vertikál. vert.	nivelace leveling	horizont. horizon.	vertikál. vert.	nivelace leveling	horizont. horizon.	vertikál. vert.
0-2	33	26	4	22	23	4	31	30
2-4	12	18	30	13	12	22	7	8
4-6	4	3	6	6	2	5	2	0
6-8	1	2	3	2	3	3	3	2
8-10	2	0	1	0	0	2	0	0
10-12	0	0	1	1	0	1	1	0
12-15	0	0	0	0	0	0	0	0

Poznámka: Na 18. stavbě nebylo až na výjimky prováděno měření velmi přesnou nivelací.

Note : At the 18. structure with few exceptions, measurement was not realized using the very precise leveling.

**PODÍLELI SE NA STAVBĚ TRASY IVC1 PRAŽSKÉHO METRA  
PARTICIPANTS IN CONSTRUCTION OF THE PRAGUE METRO IVC1 LINE**



**Držitel certifikátu jakosti podle ČSN EN ISO 9001  
Bearer of Quality Certificate according to ČSN EN ISO 9001**

Nabízíme komplexní služby při přípravě a realizaci všech druhů staveb, tzn.

We offer complex services associated with the planning and execution of all kinds of construction work, i. e.

- spolupráce při vytváření investičního záměru investora
- obstarání a vedení projektů
- zajištění územního rozhodnutí a stavebního povolení
- organizování soutěží na výběr dodavatelů
- zeměměřičské práce
- technický dozor investora
- kolaudace stavby a její předání uživateli
- studijní prověřování využitelnosti pozemků
- Assistance in the development of an investment program
- Project procurement and management
- Provision of zoning decisions and building permits
- Organising tender procedures for the selection of contractors
- Surveying
- Investor supervision services
- Inspection of completed buildings and transfers to the user
- Studies evaluating land utility

**ZKUŠENÝ PARTNER – ZÁRUKA KVALITY**



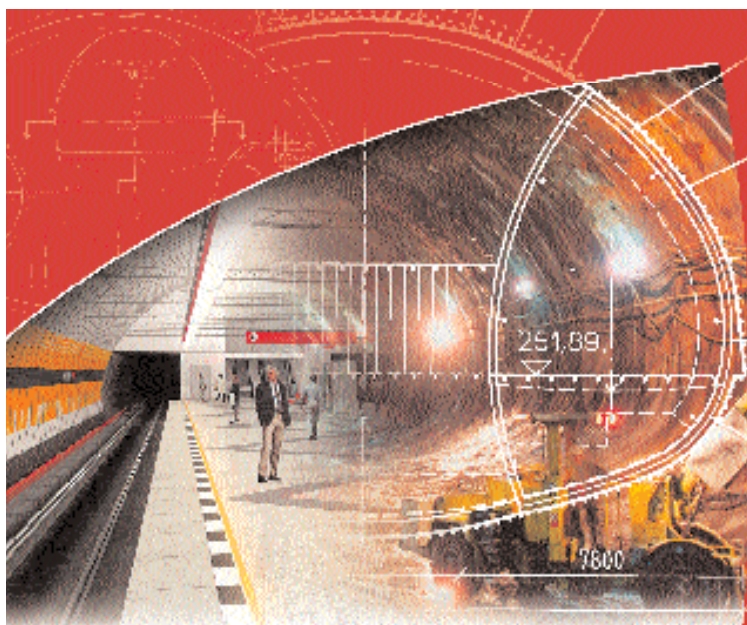
Na Moráni 360/3  
128 01 Praha 2

tel.: 236083 202  
fax: 236083 204

**EXPERIENCED PARTNER – QUALITY ASSURED**



e-mail: [ids@ids-praha.cz](mailto:ids@ids-praha.cz)  
[www.ids-praha.cz](http://www.ids-praha.cz)



Jednotlivá staniční stanice metra Kobylisy one-way driving metro station



**METROPROJEKT Praha a.s.**  
I. P. Pavlova 2/1786, 120 00 Praha 2  
Česká republika  
Tel.: +420 296 325 152  
Fax : +420 296 325 153  
E-mail: [metroprojekt@metroprojekt.cz](mailto:metroprojekt@metroprojekt.cz)  
[www.metroprojekt.cz](http://www.metroprojekt.cz)

Držitel certifikátu jakosti dle ČSN EN ISO 9001:2001 Quality Certificate Holder

**Síla  
v projektu  
Power  
in projects**

Váš partner v konzultační a projektové činnosti  
Your partner for consulting and design

**PODÍLELI SE NA STAVBĚ TRASY IVC1 PRAŽSKÉHO METRA  
PARTICIPANTS IN CONSTRUCTION OF THE PRAGUE METRO IVC1 LINE**



## Ovládáme obor Top professionals

Kvalita, přesnost a důslednost v každém detailu. Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí. Schopnost řešit problémy a odvaha hledat nové cesty. Je takhle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.  
Quality, accuracy and consistency in every detail. The coordinated effort of professionals from many fields. The ability to solve problems and the courage to search for new approaches. Is this an art-form? Maybe. In either case we do it well.

Metrostav a.s. Keželský 2243 Praha 3

**metROSTAV**

[www.metrostav.cz](http://www.metrostav.cz)



**ČKD**  
PRAHA DIZ, a.s.

Kolbenova 499  
190 02 Praha 9  
Česká republika

Tel: +420 283 891 167  
Fax: +420 283 890 156  
E-mail: [mruk@ckddiz.cz](mailto:mruk@ckddiz.cz)  
<http://www.ckddiz.cz>

## NABÍZÍ

projektování, obstarávání dodávek, montování, zkoušení a uvádění do provozu, servis a poskytování služeb s tím spojených a to

### SAMOSTATNĚ NEBO V RÁMCI

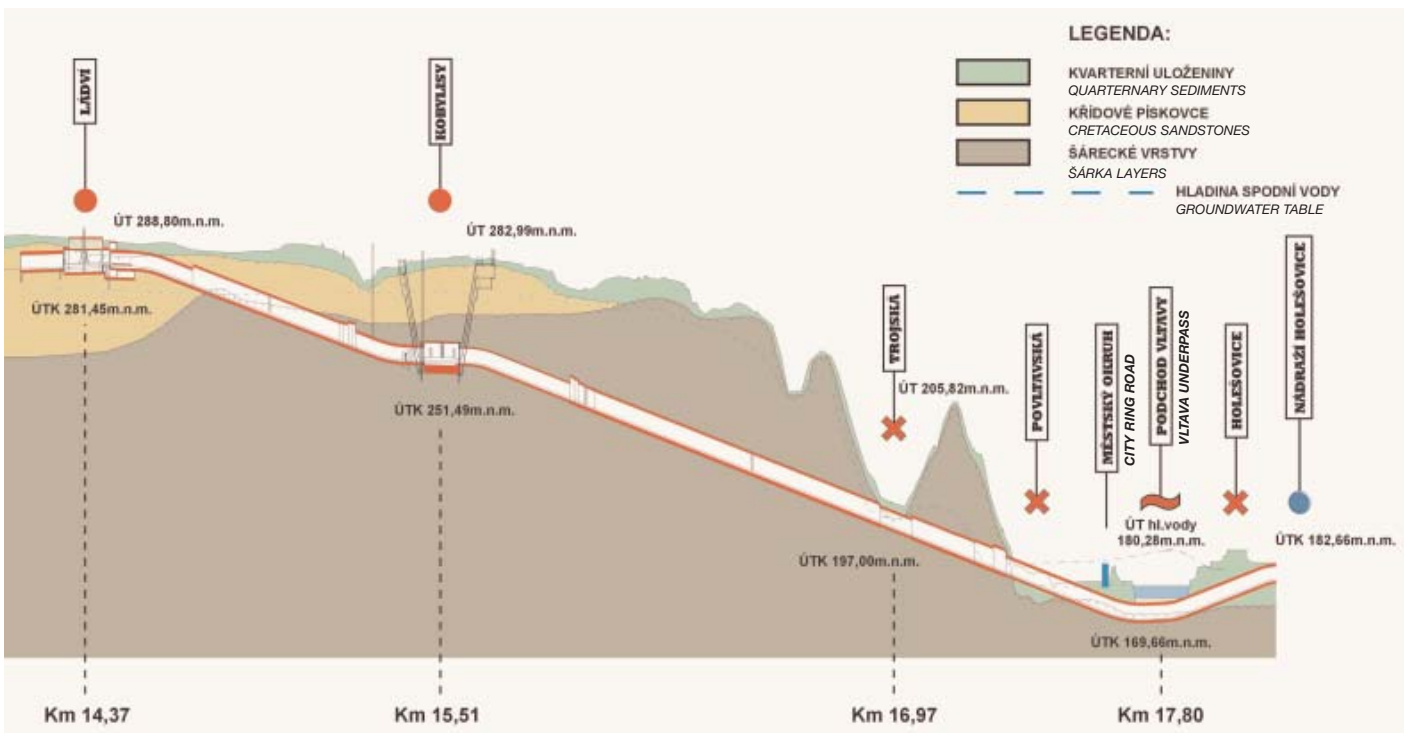
modernizací a rozšiřování stávajících zařízení, dodávek technologických provozních a investičních celků zejména v těchto oborech:

- podzemní dráhy a automobilové tunely
- povrchové dopravní systémy (měniny, silové rozvody nn a ostatní technologie)
- plynárenství (kompresorové stanice vč. potrubních dvorů)
- teplárenství (centrální zdroje tepla, rozvody tepelných sítí, kotelny atd.)
- spalovny komunálního, farmaceutického, nemocničního a speciálního odpadu
- technická zařízení budov
- chladičí zařízení pro potravinářský, chemický a ostatní průmysl, energetiku, ledové plochy zimních stadionů
- automatické systémy řízení technologických procesů

## METRO IVC1 NÁDRAŽÍ HOLEŠOVICE – LÁDVÍ



## PODÉLNÝ ŘEZ S GEOLOGIÍ / OVERALL GEOLOGICAL SECTION



# TRASA IVC1 PRAŽSKÉHO METRA PŘIPRAVENA DO PROVOZU / PRAGUE METRO-IVC1 LINE READY TO OPERATE

## Trasa pražského metra IVC1 - fotoreportáž před uvedením do provozu a hlavní účastníci výstavby

Stavba trasy metra IVC1 byla zahájena v roce 2000. Po celou dobu probíhala v termínech, které byly před zahájením výstavby stanoveny. Technickými zvláštnostmi této trasy jsou unikátní přechod Vltavy a první jednolodní stanice na pražském metru - stanice Kobylisy.

Investorem stavby je Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., inženýrské činnosti zajišťoval Inženýring dopravních staveb, a. s., projekční činnosti Metroprojekt Praha, a. s.

Stavební část realizoval Metrostav, a. s., se svými subdodavateli - akciovými společnostmi Skanska CZ, Subterra, SMP Construction, Zakládání staveb a dalšími. Technologickou část zajistilo Sdružení ČKD DIZ, a. s., a Skanska CZ, a. s., dále pak akciové společnosti AŽD Olomouc, Zenittel Colsys, Siemens Transportation Systems, Thyssen, a další.

Geomonitoring stavby prováděla SG Geotechnika, a. s., a INSET, s. r. o.

Celkové náklady stavby dosahují 8,7 mld. Kč.

Zahájení provozu s cestujícími se připravuje na konec června 2004. Tímto novým provozním úsekem o délce 3,9 km vzroste celková délka sítě metra na 54 km. Zároveň se v polovině roku 2004 připravuje zahájení výstavby dalšího prodloužení trasy C o 4,6 km ze stanice Ládví do Letňan.

Připravili: Ing. Josef Kutil, Ing. Petr Vozarik, Ing. Karel Matzner

### Základní informace o stavbě

Stavební délka IV. provozního úseku trasy C - 1. část	
Nádraží Holešovice (mimo) - Ládví (včetně)	3 981 m
(Do stavební délky jsou započítány stavební úpravy ve stanici Nádraží Holešovice)	
Maximální spád	39,5 ‰
Minimální poloměr směrového oblouku traťových kolejí	600 m
Minimální poloměr zakružovacího oblouku traťových kolejí	1 000 m
Vzdálenost stanic:	
Nádraží Holešovice-Kobylisy	2 749 m
Kobylisy - Ládví	1 140 m
Počet stanic	2 stanice
Názvy stanic:	
1. Kobylisy	ražená, dva vestibuly, ostrovní nástupiště
2. Ládví	hloubená, jeden vestibul, ostrovní nástupiště
Hloubka stanic (rozdíl úrovně terénu a nástupiště):	
Kobylisy	31,50 m
Ládví	7,35 m

### The IVC1 Line of the Prague Metro - a picture report before the inauguration, and principal parties to the project

The construction of the IVC 1 metro line started in 2000. The deadlines set out before the construction commencement were kept throughout the construction period. Technical achievements of this line are the unique method of passing under the Vltava River and the first single-vault station within the Prague Metro network, i.e. the Kobylisy station.

Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., is the project owner; overall consultancy and supervision was provided by Inženýring dopravních staveb, a. s.; Metroprojekt Praha, a. s., is the design consultant.

The general contractor for civil works was Metrostav, a. s., with its subcontractors - joint-stock companies Skanska CZ, Subterra, SMP Construction, Zakládání staveb, and others. The equipment was provided by ČKD DIZ, a. s., and Skanska CZ, a. s., Joint-Venture, together with joint-stock companies AŽD Olomouc, Zenittel Colsyl, Siemens Transportation Systems, Thyssen, and others.

Construction geomonitoring was conducted by SG Geotechnika, a. s., and INSET, s. r. o.

Overall construction cost amounts to CZK 8.7 billion.

Passenger services are being prepared for the end of June 2004. By adding this new 3.9 km long operating section, the aggregated length of the subway network will reach 54 km. At the same time, commencement of another extension to the Line C at a length of 4.6 km, from the Ládví station to Letňany, is being prepared for mid-2004.

Prepared by: Ing. Josef Kutil, Ing. Petr Vozarik, Ing. Karel Matzner

### Basic data on the construction

Structural length of the 4th operating section of the line C - 1st part	
Holešovice Station (without) - Ládví (including)	3,981 m
(Construction work in the Holešovice Station is incorporated into the structural length)	
Maximum gradient	39.5 ‰
Minimum radius of running track direction curve	600 m
Minimum radius of running track vertical curve	1 000 m
Distance between stations:	
Holešovice Station - Kobylisy	2 749 m
Kobylisy - Ládví	1 140 m
Number of stations	2 stations
Station names:	
1. Kobylisy	mined station, two concourses, central-island platform
2. Ládví	cut-and-cover station, one concourse, central-island platform
Station depths (difference between the ground level and platform level)	
Kobylisy	31.50 m
Ládví	7.35 m

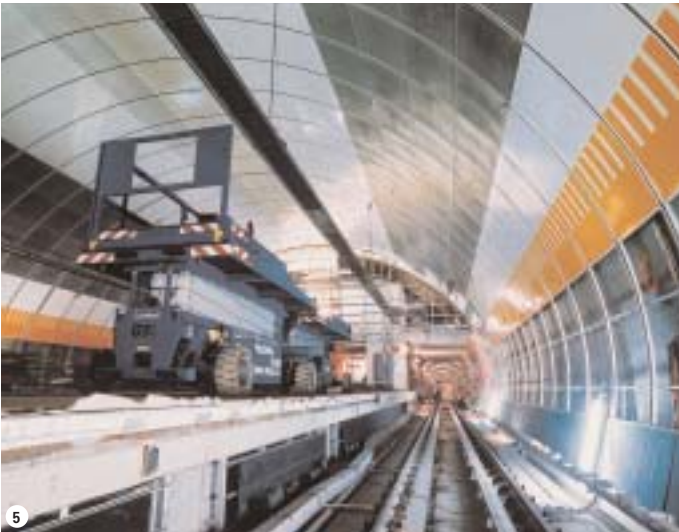


Obr. 1 Vysouvaný tunel v úseku pod Vltavou  
Fig. 1 Tunnel section launched under the Vltava River

Obr. 2 Montáž tlakových uzávěrů na traťových tunelech  
Fig. 2 Installation of pressure gates in running tunnels

Obr. 3 Definitivní provedení dvoukolejného tunelu včetně technologie v úseku Trojská - stanice Kobylisy  
Fig. 3 Finished double-rail tunnel including equipment in the Trojská - Kobylisy station section

Obr. 4 Stanice Kobylisy před dokončením architektonických úprav  
Fig. 4 Kobylisy station before completion of surface finishes



Obr. 5 Stanice Kobylišy při montáži technologie a vnitřních úpravách  
Fig. 5 Kobylišy station in the phase of equipment installation and interior finishing

Obr. 6 Stanice Kobylišy - provádění konečných úprav v eskalátorovém tunelu  
Fig. 6 Kobylišy station - escalator tunnel finishing

Obr. 7 Rozplet jednokolejných tunelů za stanicí Kobylišy  
Fig. 7 Single-rail tunnels transition to the Kobylišy station

Obr. 8 Jednokolejné tunely před stanicí Ládví  
Fig. 8 Single-rail tunnels before the Ládví station

Obr. 9 Hloubený úsek s výhybnou před stanicí Ládví  
Fig. 9 Cut-and-cover section with an exchange station before the Ládví station

Obr. 10 Nástupiště stanice Ládví při architektonické úpravě  
Fig. 10 Ládví station platform during interior finishing

PODÍLELI SE NA STAVBĚ TRASY IVC1 PRAŽSKÉHO METRA  
 PARTICIPANTS IN CONSTRUCTION OF THE PRAGUE METRO IVC1 LINE



**NÁSKOK DÍKY TRADICI**

- jsme spolehlivý partner na stavebním trhu, v podzemí i na povrchu, doma i v zahraničí
- nabízíme stavby dopravní, podzemní, inženýrské, vodohospodářské, bytové a občanské

**TAKING THE LEAD FROM TRADITION**

- we are a trustworthy partner in the construction market, underground and over-ground, home and abroad
- offering transport, underground, engineering, housing, civic and water management structures

Subterra a.s., Bezdová 1558  
 147 14 Praha 4, tel.: 244 453 553  
 fax: 244 455 179  
 e-mail: info@subterra.cz

**SUBTERRA 8**



**ZAKLADANI STAVEB\***



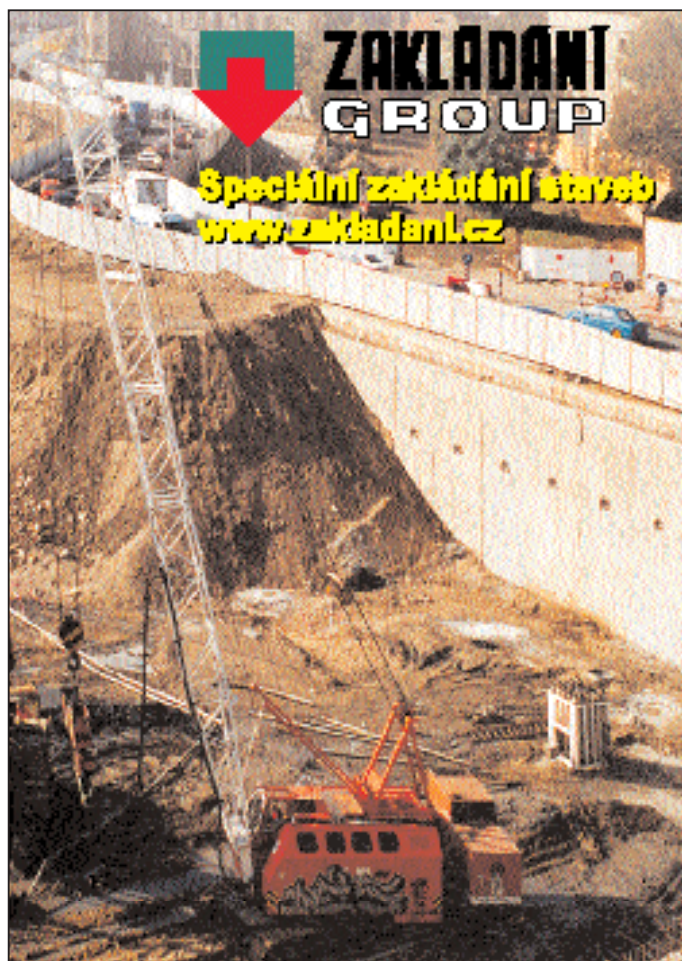
Speciální zakládání staveb  
[www.zakladani.cz](http://www.zakladani.cz)

- provádíme:
- podzemní stěny
- vrtání piloty
- mikro-piloty
- frézování injektáží
- inženýrské a občanské inženýrské
- betonární a vibrace
- vibrace



**ZAKLADANI GROUP**

Speciální zakládání staveb  
[www.zakladani.cz](http://www.zakladani.cz)





**inset**



**INSET s.r.o.**  
Novákových 6  
Praha 8 180 00  
tel. 266 311 414, 266 314 606  
601 219 085 fax 266311212  
E-mail [praha@inset.cz](mailto:praha@inset.cz)

Regionální divize  
Brno, Vinohrady 46, 639 02, tel. 541 217 454 fax. 541 246 692  
Ostrava, Režná 6, 702 00 596 123 565 596 115 832  
Plzeň, Hřimálého 11, 320 25 377 422 799 377 422 799  
E-mail [brno@inset.cz](mailto:brno@inset.cz) [ostrava@inset.cz](mailto:ostrava@inset.cz) [plzen@inset.cz](mailto:plzen@inset.cz)

*Zajišťuje po celém území ČR pro své obchodní partnery specializované činnosti:*

**Diagnostika staveb,** sledování vlivů stavebních činností, pasportizace objektů, měření deformací, náklonů, konvergencí, technických vibrací od stavebních strojů a dopravy

**Mosty,** diagnostika mostních konstrukcí, zatěžovací zkoušky, korozní průzkum

**Geofyzikální a geologický průzkum** pro inženýrské stavby, zemní radar, komplex geofyzikálních metod, gravimetrie, seizmika, vyhledávání dutin a oslabených zón pod komunikacemi, za ostěním tunelů, kanalizací, kolektorů, zjišťování hloubek a průběhu skalního podloží, dynamická penetrace

**Geodetické práce** v komplexním rozsahu, měření pro tvorbu map, projektování i realizaci staveb, aplikace pro strojírenství, měřické práce pro katastr nemovitostí

**Dátní měřičtví** včetně výkonu funkce "Hlavního důlního měřiče"

**Tunely,** komplexní servis a geomonitoring při výstavbě

**Podzemní objekty** a kanalizační stoky, průzkum, dokumentování a diagnostika konstrukcí,

**Trhací práce,** projekty, realizace, sledování vlivu trhacích prací na okolí

**Stavební geologie - Geotechnika, a.s. je konzultační firma, která nabízí zcela komplexní a přitom operativní řešení všech problémů vznikajících při interakci staveb s přírodním prostředím**



### NABÍDKA PRACÍ PRO PODZEMNÍ STAVITELSTVÍ:

- ▶ odborné konzultace v geotechnice
- ▶ geotechnická spolupráce při projekci a výstavbě podzemních staveb
- ▶ stavebně-geologické průzkumné práce
- ▶ geotechnické výpočty a numerické modelování
- ▶ project management geotechnických staveb
- ▶ řízení inženýrských rizik
- ▶ laboratorní zkoušky v akreditované laboratoři
- ▶ terénní zkoušky a monitoring
- ▶ inženýrská geodézie
- ▶ geotechnický dozor
- ▶ inženýrská seizmologie

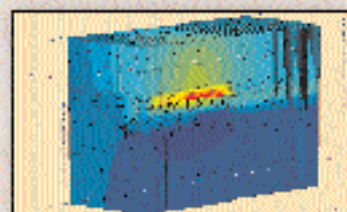
### SPECIÁLNÍ NABÍDKA

#### TECHNICKÝCH NOVINEK:

- ▶ 3D laserový skenovací systém CYRAX 2500
- ▶ georadarová aparatura SIR 20 včetně směrově orientované antény do vrů
- ▶ integrovaný systém SARAS databáze geotechnického monitoringu

#### ODBORNÉ INFORMACE, KONSULTACE:

Stavební geologie - Geotechnika, a.s.  
Geologická 4, 152 00 Praha 5  
tel.: 234 654 111, fax: 234 654 112  
e-mail: [geotechnika@geotechnika.cz](mailto:geotechnika@geotechnika.cz)  
web: [www.geotechnika.cz](http://www.geotechnika.cz)



PODÍLELI SE NA STAVBĚ TRASY IVC1 PRAŽSKÉHO METRA  
PARTICIPANTS IN CONSTRUCTION OF THE PRAGUE METRO IVC1 LINE



Člen VINCI CONSTRUCTION  
Příspěvková organizace



### Předmět činnosti:

Výstavba, opravy a rekonstrukce objektů pozemních, vodohospodářských, dopravních a inženýrských staveb



### Výstavba tunelů metra IVC1

Holešovice  
Trója  
Ládví



SMP CONSTRUCTION, a.s.  
Adresa: Evropská 1692/37, 160 41 Praha 6

tel.: +420 222 185 111 e-mail: ou@smp.cz  
fax: +420 222 325 292 www.smp.cz



Výstavbu, rekonstrukci, obnovu stanic a tras metra provádí SKANSKA CZ, a.s., Divize Technologie

Koordinace a inženýrská činnost, realizace a dodávky technologické výstroje tras metra (čerpací stanice, kabelové elektrické a silové rozvody, elektroinstalace, větrání a staniční vzduchotechnika, ochranný systém metra).

**Kontakt:**

Skanska CZ a.s., Divize Technologie,

Letňanský náměstí 11 - Metro, Křovánské náměstí 11/190, 130 00 Praha 10 - Ústavní

e-mail: +420 286 006 332 • fax: +420 286 085 519 • e-mail: i.t@onc.skanska.cz

**SKANSKA**

## VÝSTAVBA SEKUNDÁRNÍCH KOLEKTORŮ V HISTORICKÉM JÁDRU MĚSTA BRNA SPOLUFINANCOVANÁ ZE ZDROJŮ EVROPSKÉ UNIE

### CONSTRUCTION OF SECONDARY COLLECTORS IN THE HISTORIC CENTRE OF THE CITY OF BRNO - FINANCING ASSISTANCE BY THE EUROPEAN UNION

ING. FRANTIŠEK DVOŘÁK, ING. BŘETISLAV SEDLÁČEK, ING. VÁCLAV TORNER - AQUATIS, a. s.

#### 1. ÚVOD

Cílem tohoto příspěvku je informovat o současném stavu výstavby systému sekundárních kolektorů v centrální oblasti města Brna a o vlivu způsobu spolufinancování této akce ze zdrojů Evropské unie (dále EU) na projektovou přípravu. Ukládání distribučních rozvodů vedení technického vybavení v historickém jádru města Brna je řešeno v generelu sekundárních kolektorů, vypracovaném v letech 1990 - 1991 v a. s. AQUATIS Brno. Generel, tvořící systém rozdělený na 20 úseků, předpokládá jejich postupnou výstavbu a postupné předávání do provozu. Tyto úseky jsou z hlediska stavebního zákona vedeny jako stavby.

Do poloviny roku 2001 byla dokončena výstavba I. etapy systému. V této etapě byly dokončeny a jsou ve správě Technických sítí Brno, a. s., následující úseky:

1. stavba - kolektor Josefská - Masarykova
2. stavba - kolektor Josefská - Minoritská - Orlí
3. stavba - kolektor Kapucinské náměstí, Květinářská
4. stavba - kolektor Panská - Radnická
5. stavba - kolektor Jánská
6. stavba - kolektor Jánská - Malinovského náměstí

Celková délka uvedených úseků je 1790 m, což je asi 32 % délky celého systému.

Předmětem tohoto příspěvku je II. etapa výstavby kolektorů. Tato etapa je spolufinancována ze zdrojů Evropské unie prostřednictvím fondu ISPA, a to v rámci širšího projektu nazvaného Stoková síť města Brna, vedeného pod číselným označením ISPA č. 2000/CZ/16/P/PE/002. Tento projekt sestává ze tří samostatných částí: Kanalizace Líšeň, Rekonstrukce hlavních uličních stok, Kolektory v historickém centru.

Sekundární kolektory II. etapy výstavby jsou rozděleny na pět staveb:

- |  |             |
|--|-------------|
| 7. stavba - Kolektor Kobližná - Poštovská - Kozi       | délka 542 m |
| 8. stavba - Kolektor Sukova                            | délka 120 m |
| 10. stavba - Kolektor nám. Svobody - sever, východ     | délka 274 m |
| 11. stavba - Kolektor nám. Svobody - západ, Zámečnická | délka 251 m |
| 18. stavba - Kolektor Zelný trh, Starobrněnská         | délka 464 m |
- Celkem je tedy ve výstavbě dalších 1651 m. Po dokončení bude v provozu celkem 58 % celého systému sekundárních kolektorů.

#### 1. INTRODUCTION

The goal of this contribution is to inform the reader about the secondary collectors currently being erected in the central part of the city of Brno and the influence the financial contribution provided by the European Union (further only EU) had on preparation of the design work therefore.

Installation of the distribution network for technical supplies in the historic centre of the city of Brno is shown on the general arrangement drawing of the secondary collectors produced by AQUATIS, a. s., in the period 1990 to 1991. The arrangement shows 20 sections, which are to be gradually erected and brought into operation. These sections are to be considered, according to the Building Law, as civil engineering structures.

The Phase "I" of the system's development was concluded in the middle of the year 2001. The sections completed and transferred to the Technical Networks of Brno, during this period, are as follows:

1. Structure - Collector Josefska - Masarykova
2. Structure - Collector Josefska - Minoritska - Orli
3. Structure - Collector Kapucinske namesti - Kvetinarska
4. Structure - Collector Panska - Radnicka
5. Structure - Collector Janska
6. Structure - Collector Janska - Malinovskeho namesti

The total length of the above mentioned collectors is 1 790 m, which represents approximately 32 % of the system.

The subject of this contribution relates to the Construction of Collectors - Phase II. This Phase is co-funded by the EU via the ISPA Fund. This is done under the auspices of a project called "Sewer Network of the City of Brno" - registration number ISPA No. 2000/CZ/16/P/PE/002. This Project consists of the following 3 independent parts:

Lisen's sewerage, Reconstruction of the main street sewers, Collectors in the historic centre.

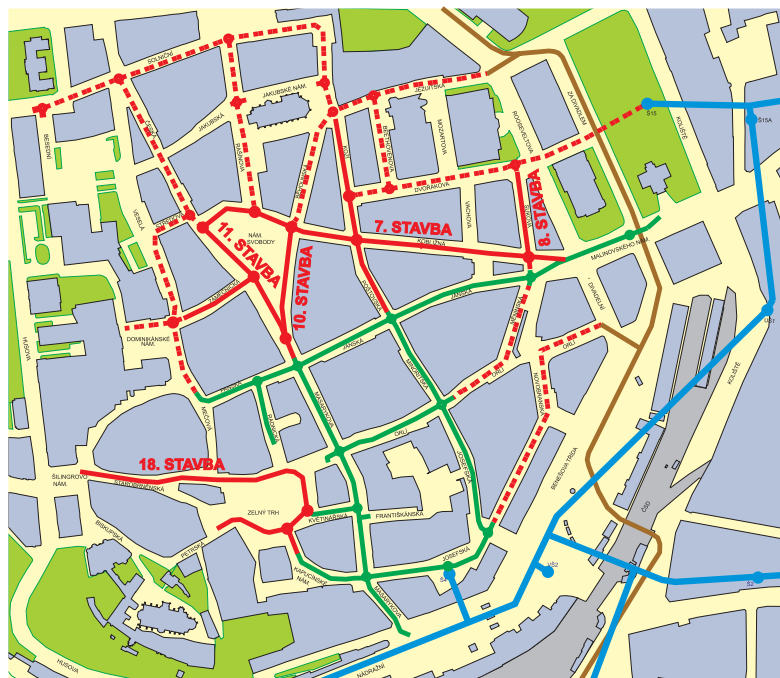
The secondary collectors of the 2nd phase of the construction are divided into 5 structures as follows:

- |  |              |
|--|--------------|
| 7. Structure - Collector Koblizna - Postovska - Kozi     | Length 542 m |
| 8. Structure - Collector Sukova                          | Length 120 m |
| 10. Structure - Collector sq. Svobody - North, East      | Length 274 m |
| 11. Structure - Collector Sq. Svobody - West, Zamecnicka | Length 251 m |
| 18. Structure - Collector Zelny market, Starobrnenska    | Length 464 m |

Thus another 1 651 m of collectors are currently under construction. After the completion, 58 % of the system of secondary collectors will be operational.

- Legenda:  
Legend:
- Zástavba  
Build-up area
  - Veřejná zeleň  
Public parks
  - Komunikace  
Roads
  - Železnice  
Railway
  - Realizovaný sekundární kolektor  
Completed Secondary Collector
  - Sekundární kolektor ve výstavbě  
Secondary Collector - Erection period
  - Sekundární kolektor - výhled  
Secondary Collector - Outlook
  - Primární kolektor  
Primary Collector
  - Rekonstrukce kanalizace  
Reconstruction of sewerage system
  - Technická komora  
Technical Chamber

MĚŘÍTKO - SCALE  
0 100 m



Obr. 1 Sekundární kolektory v historickém centru města Brna - situace  
Fig. 1 Secondary collectors in the historic centre of the City of Brno - Layout

## 2. VLIV SPOLUFINANCOVÁNÍ Z FONDU ISPA NA PŘÍPRAVU

Fond ISPA (Instrument for Structural Policies for Pre-Accession - nástroj strukturální politiky v předvstupním období) byl zřízen Evropskou unií v roce 2000 jako speciální podpůrný program připravený Evropskou komisí k podpoře uchazečských států při přípravě jejich vstupu do EU a k rozšíření jejich znalostí politiky EU tak, aby mohly ihned po vstupu využívat Fond soudržnosti. Jeho předchůdcem byl program LSIF Phare (the Large-Scale Infrastructure Facility - Program velkých infrastrukturálních investic), který fungoval od roku 1998 a v jehož rámci byly pro ČR do roku 2000 zajištěny finanční příspěvky v celkové výši 275 mil.€. Konkrétně ve městě Brně byl prostřednictvím tohoto programu financován částkou 14,2 mil.€ projekt CZ 99.10 Brno - rekonstrukce veřejné kanalizační sítě, který řešil zlepšení stavebně-technických a kapacitních problémů ve třech úsecích na trase kmenové stoky C. O tomto projektu je blíže pojednáno v TUNELU v čísle 01/2003.

Předvstupní fond ISPA je určen pro sektor dopravy a životního prostředí ve všech deseti kandidátských zemích. V oblasti životního prostředí poskytuje prostředky na projekty určené k naplnění podmínek evropské legislativy, především v oblasti ochrany vod, nakládání s odpady a ochrany ovzduší. Projekty předkládají žadatelé z veřejného sektoru, přičemž celkové náklady na realizaci projektu nesmí být nižší než 5 milionů €. Výběr konkrétního projektu a navržením výše příspěvku provádí pracovní skupina ISPA - životní prostředí, následně koordinační výbor ISPA a potvrzuje řídicí výbor ISPA, který je složený ze zástupců členských zemí Evropské unie.

Město Brno zpracovalo svoji žádost za konzultační podpory dánské firmy Carl Bro International v červenci 2000. Žádost však byla z Bruselu vrácena k dopracování pro nedostatků ve finanční a ekonomické části. Po jejím doplnění ve spolupráci s dalším konzultantem - německou firmou BCT Technology Enterprises - byla znovu podána v září téhož roku. Tentokrát byla žádost schválena a následně bylo 7. 2. 2001 podepsáno příslušné finanční memorandum se závazným termínem ukončení financování do 31. 12. 2005. Jako základ smluvních vztahů byl stanoven standard FIDIC - nová červená kniha, tj. smlouva na stavební práce, jejichž projektovou přípravu zajišťuje objednatel. Celkové náklady byly fixovány částkou 39,27 mil. €, z toho příspěvek z fondu ISPA 17,84 mil. €, tj. zhruba ve výši 45 %.

V průběhu roku 2001 bylo nutné splnit další podmínky finančního memoranda, tj. zpracování tendrové dokumentace (dále TD), provedení výběrového řízení a podpis smlouvy s vybraným dodavatelem stavby.

Magistrát statutárního města Brna zadal v lednu 2001 přípravu tendrové dokumentace u firmy Aquatis, a. s., Brno, jejími subdodavateli byly další brněnské projekční kanceláře DUIS, JV Projekt a Maloch. Vzhledem k nutnosti poměrně detailního zachycení veškerých technických hledisek pro zpracování TD podle standardu červených FIDIC, bylo nutné nejprve rozpracovat a projednat velké množství prováděcích projektů (pro 137 stavebních objektů a provozních souborů), na jejichž podkladě bylo možné spolehlivě stanovit předepsané podrobné specifikace a výměry. V září 2001 byl předán čistopis TD Implementační agentuře CRR, která jej po kontrole postoupila Delegaci Evropské komise ke schválení. Schvalovací procedura, která trvala 10 měsíců, byla završena v červenci 2002 schválením TD. Vzhledem k velikosti investice byla TD značně objemná, zahrnovala na 1700 stran textových dokumentů a 600 výkresů - situací, podélných a příčných profilů, podrobných výkresů objektů a detailů. Po schválení byla zpracována a vydána ve stejném rozsahu rovněž česká verze TD pro usnadnění kontaktů s tuzemskými partnery. Rovněž komplex prováděcích projektů použitých jako vstupní podklad pro TD představoval značný objem dokumentace. Zahrnoval dalších 1200 dokumentů - výkresů, technických zpráv a specifikací, které bylo nutno připravit téměř souběžně s pracemi na TD. To vyžadovalo od všech zúčastněných projekčních kanceláří mimořádné odborné a personální nasazení.

V následném výběrovém řízení byl vybrán zhotovitel, kterým se stalo konsorcium tuzemských stavebních firem pod vedením a.s. Subterra (+ ŽS Brno, a. s., Metrostav a. s., IMOS a. s.), s nímž byla podepsána smlouva v prosinci 2002 s termínem dokončení výstavby 11/2005.



Obr. 2 Ražba sníženého profilu  
Fig. 2 Excavation of the reduced cross section

## 2. INFLUENCE OF THE ISPA CO-FUNDING ON THE PLANNING WORK

The ISPA Fund (Instrument for Structural Policies for Pre-Accession) was established by the European Union in the year 2000. The purpose of this special assistance programme established by the European Commission is to help the candidate states with their preparation for entry into the EU and to increase their knowledge of the EU policies. This is in order that they may be able to take advantage of the Cohesion Fund immediately after becoming the EU members.

The programme - LSIF Phare (The Large-Scale Infrastructure Facility) was in operation since the year 1998 and via this programme the Czech Republic was allocated, since the year 2000, with a contribution of 275 mill. EUR. 14,2 mill. EUR from it was used for example for the Project CZ 99.10 for the city of Brno titled - "Brno - Reconstruction of the Public Sewerage System" of which the objective was to improve conditions related to the structural and capacity-related problems of three sections in the main sewer route labelled as the route "C". This project was described, in some detail, in the TUNNEL magazine - number 01/2003.

The Pre-Accession ISPA Fund targets the transportation and environmental issues of ten candidate states. Its environmental part offers assistance with projects of which goal is to fulfil conditions as stipulated by the European Legislature for Water Conservation, Waste Treatment and Air Pollution Control. The projects have to be submitted by applicants from Government Organisations and their total value should not be less than 5mill. EUR. The Working Group of the ISPA - Environmental Affairs and the Coordination Commission of ISPA is responsible for the projects' selection and a proposal concerning the size of contribution that should be allocated to each of them. The proposal is then submitted for approval by the ISPA Governing Body, which is formed by representatives of member states of the European Union.

The Submission of the city of Brno was prepared with the assistance of a Danish consulting company Carl Bro International in July 2000. However, the Brussels' office of the EU reported that the Submission was lacking in its Financial and Economical Sections and sent it back to Brno for corrections. The document was subsequently corrected with a help of a German consulting company BCT Technology Enterprises and resubmitted to the EU in September of the same year. This time the document was approved and the relevant Financial Memorandum signed on 7. 2. 2001. The Memorandum specified the non-negotiable completion date as 31. 12. 2005. FIDIC, the new red book, i.e. "Agreement concerning civil engineering works of which design is prepared by the Employer", was to be used as the base on which all contractual agreements should be founded. The specified fixed total expenditure of the project was 39,27 mill. EUR. The EU contribution accounted for 17,84 mill. EUR, which is approximately 45% of the total cost.

Certain additional conditions stipulated by the Financial Memorandum had to be complied with during the year 2001. These were as follows: preparation of tender documentation (further only TD), contract award and signing thereof with the preferred civil engineering contractor. The City Council of Brno requested Aquatis a.s Brno to prepare the tender documentation. It was necessary to enroll assistance of the following subcontractors: DUIS, JV Projekt and Maloch, all of them Brno-based design offices. In order to achieve the required objectives, a large number of construction projects (for 137 structures and technological units) on which bases the individual specifications and measurements could have been safely evaluated, had to be developed and considered. The final version of the Tender was then submitted for checking by the Implementation Agency CRR in September 2001, which passed it on, after completing their part, to the Delegation of the European Committee for approval. This was done in July 2002. Approval of the Submission took 10 months. Due to the large extent of the work to be carried out, the Tender Documentation contained 1700 pages of text and 600 drawings - general arrangements, longitudinal and cross sections, detail drawings and details. In order to assist the Czech partners with evaluation of this tender, the document was, after the approval, issued in the same extent also in Czech language.



Obr. 3 Dokončování raženého profilu v ulici Koblizná  
Fig. 3 Finishing of the mined profile in Koblizna Street

Dlouhá doba přípravy, způsobená přerušением prací během zpracování TD a zdlouhavým procesem jejího schvalování, se negativně projevila na časovém průběhu vlastní výstavby, protože termín ukončení stanovený ve finančním memorandu již nebylo možné posunout. Lhůta výstavby se tak zkrátila z předpokládaných cca 46 měsíců na 33 měsíců, což si vyžaduje mimořádné nároky na časovou i prostorovou koordinaci a optimalizaci všech stavebních postupů.

### 3. VEDENÍ TECHNICKÉHO VYBAVENÍ

Výčet všech vedení technického vybavení, které je možno do kolektorů ukládat, je poměrně obsáhlý. Jsou to jednak trubní vedení - vodovod, plynovod, parovod, resp. horkovod, kanalizace, potrubní pošta a potrubí domovního odpadu, jednak vedení kabelová - kabely silnoproudé pro velmi vysoké, vysoké, nízké i malé napětí, kabely slaboproudé a světelné. Zvláštní skupinu tvoří vedení vlastního vybavení - kabely pro osvětlení, napájení ventilátorů, servopohonů, kabely ovládací a signalizační, odvodňovací potrubí, potrubí separátního větrání.

Zatímco pro kabelová vedení nejsou přijímána prakticky žádná omezení s výjimkou nejvyššího napětí, v určitém prostoru přijatém, což souvisí s napěťovou soustavou konkrétní rozvodné sítě a jejího zásobování, jsou na osazování některých trubních vedení do kolektorů v různých místech rozdílné názory.

Úvahy o vedení potrubí domovního odpadu byly (prozatím) ukončeny ve všech městech, ve kterých stavba kolektorů probíhá, negativně. Podobně tomu je i u potrubní pošty, kterou je možno osadit do primárních kolektorů v Praze i Brně, bude-li taková poptávka.

S ohledem na rozšíření centrálního vedení tepla v historickém centru Brna (a nejen v něm), je v první etapě výstavby instalován parovod a je v provozu, v dalších etapách je počítáno s instalací horkovodu.

Velmi závažné rozhodnutí platí o ukládání plynovodů do kolektorů, ať nízkotlakých, či středotlakých. V sekundárních kolektorech v Brně plynovod osazován není a není s ním do budoucna ani počítáno. Tato skutečnost vyvolává některé otázky, které je obtížné zodpovědět. Plynovody, uložené v zemi prakticky ve všech ulicích souběžně s kolektory, jsou zpravidla relativně nové a potrubí má předpokládanou dlouhou životnost. Přesto je jejich životnost kratší, než je předpokládaná životnost kolektorů. Přitom je nezbytné kolektory při souběhu s plynovody v zemi dobře zabezpečit proti účinkům plynu, který může při poruše plynovodu do podzemních prostor vniknout (signalizace výskytu plynu odstupňovaná podle stupně koncentrace plynu, vybavení zařízením v nevybušném provedení a další). Jakákoliv oprava či výměna plynovodu, uloženého v zemi, znamená rozkopání povrchu. Zdá se, že vyřazení plynovodů z kolektoru má jiné než technické příčiny.

Po dlouhá léta diskutovaným problémem je možnost společného řešení kolektorové soustavy a systému kanalizace. Domníváme se, že tato otázka je v systému sekundárních kolektorů v historickém jádru Brna vyřešena velmi dobře. Přispěla k tomu bezpochyby výšková konfigurace zájmové oblasti a do značné míry havarijný stav převážné části stok, ale především přístup správce kanalizace a odborná erudice zpracovatele projektů, počínaje generelem. Podle současného i výhledového stavu je v převážně většině kolektorových štol systému kolektorů v historickém centru Brna součástí kolektorů i kanalizace. Obetonované kanalizační potrubí je umístěné v podlaze a při řešení jednotlivých větví kolektoru jsou řešeny veškeré domovní přípojky. Podrobnosti jsou v odstavci o řešení napojení jednotlivých objektů.

### 4. ŘEŠENÍ NÁPLNĚ KOLEKTORŮ

Přednostním problémem řešení kolektorových systémů i jednotlivých úseků v historické zástavbě velkých měst by nemělo být řešení geotechnických problémů, ať



Obr. 4 Ukládání kanalizace průměru 1000 mm pod podlahu kolektoru  
Fig. 4 Laying of the 1000mm sewer under the collector's floor

The set of construction documents used for compilation of the Tender consisted of additional 1200 documents - drawings, technical reports and specifications that had to be prepared in parallel with the Tender. Due to exceptional professional qualities and dedication of all participants the task was completed as required.

The Tender was awarded to the Consortium formed by Czech civil engineering companies under the leadership of Subterra, a. s., (+ ZS Brno, a. s., and Metrostav, a. s.). The Contract was signed in December 2002.

A long period of time spent on preparation of the document, interrupted compilation thereof and lengthy time needed for its approval, resulted in a negative impact on the construction works-schedule since the completion date specified by the Financial Memorandum was fixed and could not be postponed. The construction work was thus shortened from the expected 46 months to only 33 months period, which is putting an enormous pressure on the works coordination and all construction activities.

### 3. INSTALLATION OF MECH/ELECTRICAL EQUIPMENT

A list of equipment that may be installed within collectors is rather large. It includes not only various pipelines - pipes for cold water, warm water and steam heating system, sewerage, postal piping and domestic waste but also cables - heavy current cables for very high, high and low voltage, low current and cables for lighting. A special group of cables is formed by cables serving the collectors' own requirements - cables for lighting, ventilators, driving units, controls and alarms. Included in the category are also pipes for dewatering and air exhaust.

Whilst fitting of cables within collectors is not subject, practically, to any restrictions, with the exception of cables for very high voltage related to a particular distribution network and its supply, views on fitting of certain types of pipeline are by no means uniform.

Installation of domestic sewerage piping into the collectors was disapproved (in the meantime) for all cities where the collectors are currently being constructed. The same is applicable to the postal piping. These, however, could be installed in primary collectors in Prague and Brno, should it be required.

As far as the installation of heating-pipeline in the historic centre of the city of Brno is concerned (and not only here), the Phase I of the works included installation of the steam pipelines (which are operational) and the further phases will incorporate the installation of a hot water system.

Fitting of gas piping into collectors is subject to strict regulations, whether it is for low or medium pressure of gas. The Brno's secondary collectors do not include gas pipelines and neither there are plans for their inclusion in future. This, however, poses a problem, which is not so easy to resolve. Although the gas pipelines are laid practically in all streets parallel with the collectors and are relatively new, their expected service life is shorter than that of the collectors themselves. However, it is required that the collectors are protected against ingress of gas from these pipelines should they be damaged (sensor system sounding alarm in dependence on the gas concentration, installation of equipment suitable for explosive conditions, etc.). This, combined with the fact that practically all types of repairs of these pipelines would require digging up the streets and creation of a lot of inconveniences, suggests that the decision to exclude them from the collectors was based on other than just engineering considerations.

Common solution to the collector and sewerage systems was contemplated and extensively discussed over a period of many years. It is believed that this subject had been handled well as far as the secondary collectors system in the historic centre of Brno is concerned. This was due to the RL configuration of the interest zone, dilapidated state of a large part of the sewers, approach of the Network Supervisor and the professional erudition of the project designer. In accordance with the current and future outlook, the dominant part of the collectors in the historic centre of the city of Brno will contain sewerage system as well. Sewerage pipes are placed into the floor of the collectors and concreted in. For further details see the article describing connections to individual structures.

### 4. THE COLLECTORS FURNISHING

Collectors constructed in historic parts of large cities should not handle problems of the geotechnical nature, whether it concerns mining activities or protection of existing structures and parallel utilities. The collectors' main purpose is to bring water, energy and supply of information data to the concerned structures and also to take away wastewater in the required volumes whilst causing the minimum possible disruption to the environment whether it be during the construction work or the system's operation. This could only be achieved through a close cooperation with Network Supervisors and their Owners. These institutions thus should, first of all, be interested in this relationship and have the necessary understanding of the current and future requirements of their resorts and the technical development thereof. Cooperation between these bodies and the designers is unfortunately seldom that good. Designers thus concentrate mainly on technical aspects of the construction work and the collectors' furnishing becomes subject, more or less, to a professional estimate only. This results in an increase in the capital investment whilst the practical utilisation of the structures diminishes. Just as is the case in other fields of engineering, a capacity of a system is determined by the largest possible amount of network that may be transferred through its narrowest profile, so it is true even here. Areas outside these narrow spaces can hardly be utilised economically. This, unfortunately is the case with collectors designed for the maximum amount of lines which eventually cannot be transferred through various crossings and bends, i.e.

už jde o návrh ražby (jedná se převážně o stavby prováděné hornickým způsobem), či bezchybné zajištění stávající okolní zástavby včetně souběžných vedení technického vybavení. Hlavním účelem kolektorů je přivést vodu, energii a informace do objektů a odvést odpadní vody z objektů v požadované kapacitě při zachování udržitelného životního prostředí při stavbě i provozu. K tomu je nezbytné úzce spolupracovat s příslušnými správci či majiteli vedení. Tyto instituce musí mít především zájem na spolupráci. Musí mít dostatečný přehled nejen o současných, ale i perspektivních potřebách svého resortu a směru technické rozvoje. Jak mohou potvrdit projektanti kolektorů, nesetkávají se vždy se vstřícností při požadované spolupráci. V takovém případě se projektanti věnují především otázkám realizace a náplň kolektorů je stanovena víceméně odborným odhadem. To je pak příčinou zvyšující se investiční náročnosti staveb při snižující se praktické využitelnosti. Tak jako v jiných případech i zde platí, že přenosová kapacita systému je daná možnostmi převést určité množství sítě nejužším profilem a prostory mimo tato úzká místa jsou drahým balastem, prakticky nevyužitelným. To je však úděl návrhů, kdy jednotlivé větve kolektorů jsou dimenzovány na určité maximální množství ukládaných vedení, která však ve svém souhrnu není možno všechna převést místem křížení a odbočování, tj. technickými komorami. Technické komory, které by umožňovaly křížení a odbočování variabilně ve všech směrech, by byly tak velké, že by neúměrně prodražily stavbu a v konečném stadiu by byly poloprázdné.

### 5. ZÁSADY VEDENÍ SÍTÍ V SEKUNDÁRNÍCH KOLEKTORECH V HISTORICKÉM CENTRU MĚSTA BRNA

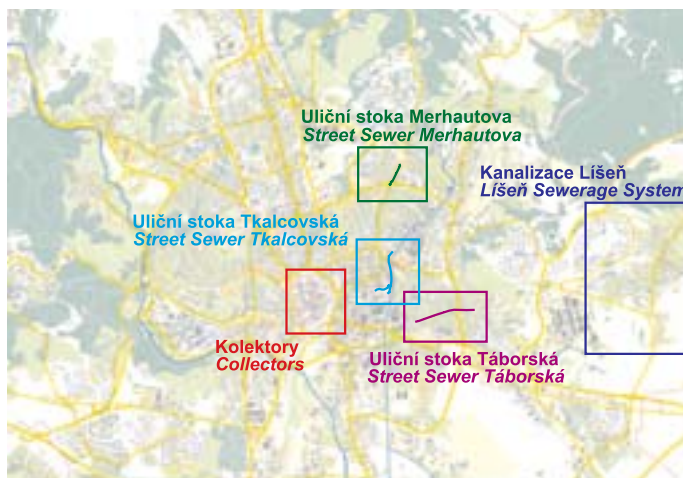
Pro podzemní liniovou stavbu, nesoucí označení kolektor, musí být splněny dvě základní podmínky. Musí být určena nejméně pro dvě různé inženýrské sítě a v převážné délce musí být zajištěn pohyb obsluhy vytvořením průchodu v horizontálních částech o šířce nejméně 0,75 m a výšce 2,1 m. Z hlediska provozovatele kolektorů je výhodné zachovávat možnost volného průchodu i průjezdu hlavními trasami.

Sekundární kolektory, které zpravidla sledují uliční síť, mají ve své trase jednak odbočení pro napojení jednotlivých pozemních objektů, tzv. domovní přípojky, jednak v místě křížovatek ulic prostor pro odbočení, případně křížení jednotlivých vedení při zachování uvedených základních podmínek - tzv. technické komory. Je nutno se zmínit i o tzv. odbočkách, které umožňují pokračovat ve výstavbě systému bez rušivého zasahování do úseků již provozovaných.

V pojednávaném systému kolektorů v centru Brna se v trase kolektoru ustálilo umístění vodovodů při podlaze, v horní části profilu jsou teplovody. Náplň doplňují kabelové rozvody v kolektoru po obou jeho stranách a kanalizační potrubí. Kanalizační kruhové potrubí  $\varnothing 400 - \varnothing 1200$  mm je ukládáno do podlahy, je vždy obetonováno a revizní šachty v podlaze jsou uzavřeny vodotěsnými poklopy. Domovní kanalizační přípojky a dešťové vpusti jsou přiváděny do spadíšť, jejichž výška je daná rozdílem úrovně domovní přípojky a stoky v podlaze. I tento prostor je oddělen od vnitřku kolektoru vodotěsným uzávěrem, odvětrání je kanalizačními šachtami umístěnými mimo kolektor a domovními přípojkami. Odvodnění podlahy kolektoru je gravitační přes vodní úroveň se zpětnou klapkou.

Umístění kanalizačního potrubí včetně přípojek volně do kolektoru bylo zpočátku diskutováno, ale toto řešení nebylo přijato.

Odbočování vedení do objektů je zásadně řešeno tak, že průchod je veden z prostoru vytvořeného zvýšením stoly kolektoru. Vlastní domovní přípojka má podlahu nad úroveň kolektoru. Přístup do takové přípojky (může být jednostranná či oboustranná) je z průchozí chodby po žebříku a průběžná trasa sítě je bez změny nivelety. Podstatnou předností takového vedení je skutečnost, že domovní přípojky jsou převážně v úrovni suterénů a převedení sítě z přípojky do objektu je přímo chráničkami, vrtnými z čela přípojky do suterénu. Je to jakási odměna za to, že zároveň s výstavbou kolektorů je řešena i rekonstrukce zastaralé a poruchové kanalizační sítě, která je převážně umístěna výše, než je nyní nová v podlaze kolektorů. Je využita přednost historické části města Brna, spočívající ve vhodných spádových poměrech daného území. Úroveň domovních přípojek zpravidla je mimo



Obr. 5 Město Brno - ISPA projekt 200/CZ/16/P/PE/002, přehledná situace  
Fig. 5 City of Brno - ISPA Project 200/CZ/16/P/PE/002, General Arrangement

through technical chambers. A chamber that could handle variable amounts of line crossings in all directions would have to be large indeed and the cost of its construction would substantially increase the cost of the whole project. Such a chamber would at the end be half empty and under-utilised anyway.

### 5. PRINCIPLES GOVERNING INSTALLATION OF NETWORK IN SECONDARY COLLECTORS IN THE HISTORIC CENTRE OF THE CITY OF BRNO

Construction of a linear structure called collector is governed by two basic principles. It must house at least two engineering networks and for the most of its length it must allow for movement of service personnel by creating a passage in its horizontal sections of which dimensions would not be smaller than 0,75 m wide and 2,1 m high. Free passage through the main route, serving the personnel and transport vehicles, is considered to be an advantage. Secondary collectors which normally follow street network, feature turn offs for connections to individual surface structures, so called house connections, and chambers that allow, at street crossings, crossing and bending of individual lines whilst respecting the pre-set conditions - so called technical chambers. There are also so called turn offs that allow continuation of the system's construction without disrupting function of sections that are already operational.

It became a matter of routine with the construction work carried out in the historic part of the city of Brno that water conduits would be placed in the floors and the heating distribution pipelines at the top sections of the collector profiles. Cables being fitted along both sides of the collector and sewer piping complemented the furnishing. The sewer-piping,  $\varnothing 400$  to  $\varnothing 1200$  mm, that is installed in the floor is always concreted in. Manholes in the floor are fitted with watertight covers. The household sewer connections and the storm-water inlets are brought to the aprons of which height is determined by the difference between the level of domestic connection and a level of the sewer in the floor. This area is also sealed off from the collector's interior by a watertight cover. Its ventilation is done via sewer shafts placed apart the collectors' and household's connections. Gravity drainage takes water from collectors via a water lock arrangement fitted with a non-return valve. Housing of the sewer piping, fitted with joints, freely inside the collectors was originally considered to be an advantage but was discarded at a later stage. Branching of the network into the structures was via a passage taken from the space created by rising of the collectors' adits. The floor of the domestic connections is above the collector's level. Access into the connection (which may be one or two sided) is through the pass-through gallery via a ladder, and the elevation of the network routing remains unchanged. The main advantage of this system lies in the fact that domestic connections are mostly at the basement levels and the lines may be transferred into the structures via casing pipes frilled from the front of the connection into the basement directly. It is a way of being rewarded for doing the reconstruction of the old and defective sewer network, which is mostly placed higher than is the newly installed one - in the floor of the collectors. The design took advantage of sloping ground in the historic part of Brno. Elevation of the domestic connections is mostly out of the reach of the existing street network with the exception of the sewer connections. These are led into aprons built together with the collectors or those that were refurbished.

Branching and crossing of the lines takes place in technical chambers. In the case of the one sided branching (T shaped chambers), the lines are raised up in order to allow for the necessary walk-through passage. In the case of the two sided branching (crossing), the lines are raised on both sides. Cables branching from one side of the collector into the branch on the other side are mounted on supporting structures and at the ceiling. The cables are accessible by means of service platforms. Pipes are raised to the level of the platforms in order to create the necessary walk-through passage.

The advantage of the system is that the maintenance personnel can access the network even with transport vehicles should it be necessary. The system does away with various platforms, normally required for branching off the lines to the opposite sides of the domestic connections or in technical chambers. The free access to the network along the whole route is, without any doubt, the advantage of the accepted design.

### 6. PHASE II. - LINING

Principles that are governing static calculations and behaviour of ground structures are described in detail in the article [1]. Correctness of the accepted design was confirmed by the results of the convergence measurements made during the erection and by uncompromising loading tests carried out thereafter. For this reason, the same principles could have been adopted, with some modifications, even to the second stage of the development. The first stage, as described in the article [2], concerned mainly mining work carried out in a layer above the ground water table, mostly in the cohesive backfills, loess loam and cohesive clayey soils. Non-cohesive sands and gravels are the remnants of peoples' activities - backfills in excavations for engineering networks or backfills for civil engineering works. Concrete for waterworks was used for erection of the structures but these were without waterproofing. Environment of the second phase was more complicated than that of the first one - the major part (with the exception of the collectors at Zelný trh) encroaches, to the greater or lesser extent, into the lime-clays area, so called Brno's tegl, and ground water of which fluctuating levels reach, in some instances, above the collectors. Even though the mining activity takes place mainly in the cohesive soils, mining under the changing conditions becomes naturally more complicated. Nev-

dosah stávajících sítí v ulici z výjimkou přípojek kanalizačních, které jsou však sváděny do spadišť, budovaných v rámci kolektorů nebo obnovovaných.

Odbočování a křížování uložených sítí je řešeno v technických komorách. Při odbočování jednostranném (komory tvaru T) jsou sítě na straně odbočení zvednuty tak, aby pod nimi vznikl průchozí profil. Při odbočování na obě strany (křížení) jsou průběžné sítě zvednuty na obou stranách, kabely, odbočující z jedné strany kolektoru do odbočky na straně druhé, jsou vedeny po pomocných konstrukcích a klenbách, kde jsou přístupné z obslužné plošiny. Potrubí jsou zvedána do úrovně plošiny k vytvoření průchodu.

Předností uvedeného způsobu vedení sítí je možnost pohybu obsluhy i s případným dopravním mechanismem bez překonávání překážek. Odpadají tím různé plošiny po trase, nutné pro převedení sítí na opačnou stranu kolektoru při odbočování do domovních přípojek či v technických komorách. Dobrá přístupnost k vedením po celé trase i do odboček a přípojek je bezesporu předností přijatého řešení.

## 6. OSTĚNÍ II. ETAPY VÝSTAVBY

Zásady statického výpočtu a chování pozemních konstrukcí jsou podrobně popsány v článku [1]. Výsledky, získané konvergenčním měřením při stavbě a přísnými zatěžovacími zkouškami po dokončení, prokázaly správnost přijatého řešení. Byly proto aplikovány po přizpůsobení se vlivu některých odlišností daného prostředí i pro výstavbu II. etapy. První etapa výstavby, popsaná v [2], byla prakticky celá ražena nad hladinou podzemní vody v převážně soudržných navážkách, sprašových hlínách a jílovitých soudržných hlínách. Nesoudržné pisky či štěrky byly spíše pozůstatkem činnosti člověka - záscopy výkopů pro inž. síť nebo stavební záscopy. Konstrukce byly prováděny z vodostavebního betonu a nebyly izolovány. V druhé etapě je prostředí složitější - převážně část (s výjimkou kolektorů na Zelném trhu) zasahuje více či méně do vápnatých jíllů, tzv. brněnských téglů a do podzemní vody, jejíž proměnná hladina je v některých místech až nad kolektorem. I když převážná část prostředí, ve kterém ražby probíhají, je tvořena soudržnými zeminami, je pochopitelně rážba ve změněných podmínkách značně obtížnější. Základní metodou výstavby zůstává však NRTM, jdoucí ruku v ruce s observační metodou sledování prací.

Na základě zkušeností z I. etapy výstavby došlo v návrhu k některým konstrukčním změnám. Je to především zjednodušení příčného řezu kolektorů i komor. Zatímco kolektory i komory byly z počátku v klenbě i v opěři obloukové, nové řešení přijalo tvar kruhové klenby a rovných opěr. Rovné opěry jsou výhodnější především z hlediska maximálního využití průřezu. Po vyhodnocení zatěžovacích zkoušek techn. komor byla při jejich ražbě zvětšena velikost záběru a tím i vzdálenost výtuzných rámu primárního ostění z 0,5 m na 0,75 m. Záběr při ražbě kolektorů je 0,8 - 1,0 m. Pro zajištění primárního ostění zůstává tak jako v I. etapě stříkaný beton, svařovaná síť a nově v převážně míře používané příhradové svařované nosníky z betonářské výtuzky ANKRA a ASTA. Tyto konstrukce vystřídal původně používanou dřílnou výtuzou s poddajnými spoji z profilů K 21 a K 24. Výhodou tohoto řešení je úspora oceli, větší variabilita průřezů podle zatížení a v neposledním místě i možnost lepšího prostříkání konstrukce bez nebezpečí vzniku dutin v ostění.

Sekundární ostění kolektorů, prováděné zpravidla se značným časovým odstupem, je opět ze stříkaného betonu, kombinovaného se svařovanými sítěmi při obou površích.

Ochrana díla proti spodní vodě je řešena těsněním s krystalizačními účinky, vytvářením vrstvy mezi primárním a sekundárním ostěním. Stěny a klenba jsou opatřeny vrstvou ze směsi MONOCRETE MONOMIX XP TH s přísadou XYPEX ADMIX C 1000 o tl. nejméně 15 mm, nanášenou suchým nástřikem. Podkladní beton a spodní část svislého ostění jsou opatřeny nátěrem XYPEX CONCENTRATE, který je užíván též ve všech pracovních spárách, vzniklých přerušením betonáže. V jednotlivých úsecích je izolace prováděna do výšky přesahující o 1,0 m zjištěnou hladinu podzemní vody. Výsledkem navržených opatření není vodotěsná konstrukce, ale získání konstrukce vodonepropustné, kde pronikající vodní páry jsou odpařovány do okolního prostoru a odváděny větracím systémem do ovzduší. Místo případného pronikání vody je snadno zjištělné i opravitelné. Podle informací z literatury, např. [4], při daném přetlaku spodní vody by pro zajištění vodonepropustnosti stačilo ostění v navrhované tloušťce (35 cm u kolektorů, 50 cm u techn. komor) za předpokladu dodržení předepsané intenzity větrání. Navržená izolační vrstva mezi primárním a sekundárním obezdívkou je zárukou omezení množství vodních par odpařovaných z ostění na minimum. Zároveň zabezpečí regeneraci při vzniku trhlinek v ostění.

## 7. ZAJIŠTĚNÍ OKOLNÍ ZÁSTAVBY

Základová spára kolektorů je přibližně jednotná v celé délce a pohybuje se okolo 7,0 m pod úrovní povrchu. Ani pozemní zástavba není příliš hluboko založena, z čehož vyplývá nezbytnost zabezpečit okolní objekty proti indukovaným účinkům ražby. Z geotechnických vlastností zemin byl stanoven rozsah ovlivnění objektů. Při rozhodování o rozsahu zajištění bylo přihlíženo i k historické hodnotě objektů a jejich stavebnímu stavu.

Hlavními prvky indukovaných účinků jsou poklesy vyvolané ražbou štol a účinek změn hladiny podzemní vody. Seismické vlivy a vlivy z poddolování v daném prostoru nepřicházejí v úvahu.

Pro zabránění poklesů okolních staveb vlivem ražby slouží clona ze sloupů tryskové injektáže, umístěná mezi pozemní a kolektorové objekty. Myšlenka podchytit základy čelních stěn objektů byla opuštěna, neboť rozdílné uložení jednotlivých stěn objektů by mohlo dlouhodobě vést k jejich poruchám. Průměr a vzdálenosti jednotlivých sloupů, vytvořených tryskovou injektáží, jsou voleny tak, aby clona

ertheless, the NATM is still the fundamental excavation method, which goes hand in hand with the observation method of the construction works.

On the basis of experiences gathered from the first phase of the works, certain construction methods were modified. It concerned, first of all, simplification of cross-section arrangements of the collectors and chambers. Whilst the roof and side-walls of the collectors and chambers were originally curved, the roof in the new proposal was circular and sidewalls were straight. Straight sidewalls are better also in view of the maximum utilisation of the cross section. As the result of evaluation of the loading tests carried out on the technical chambers, the round length was increased from 0,5m to 0,75m and with it also the spacing of support frames used for primary lining. The round length in case of the collectors is 0,8m - 1,0m. The primary lining consists, just as in the Phase 1, of shotcrete, welded mesh and mostly lattice girders welded together from reinforcing rods ANKRA and ASTA. These structures have replaced the originally used colliery yielding supports, fabricated from the K21 and K24 profiles. Advantage of this system is in the saving of steel, greater assortment of sections in dependence on the loading and easier shot-creting through the arrangement and thus a smaller possibility for creation of cavities in the lining.

The secondary lining, normally erected at some later stage, consists also of sprayed concrete, which is combined with fitting of welded mesh to the both surfaces.

The works are protected against ground water by a waterproofing layer of a crystallising material placed between the primary and secondary lining. The walls and ceiling are furnished with a layer of MONOCRETE MONOMIX XP TH mixture with additive of XYPEX ADMIX C 1000 having the minimum thickness of 15mm sprayed using the dry process. The base concrete and the bottom part of the vertical walls are painted by XYPEX CONCRETE paint, which is also applied to all construction joints caused by discontinuation of concreting work. The waterproofing system in some sections stretches by 1,0 m above the ground water table. The purpose of the proposed measures is not to construct a watertight structure but a structure that is impervious for water, and from which the penetrating water vapour can be exhausted to the atmosphere. Water seepages are easy to detect and easy to repair. Thickness of the proposed lining (35cm thick for collectors and 50cm thick for technical chambers), for the given overpressure of the ground water, would satisfy, according to the literature, e.g. [4], the requirements concerning imperviousness, provided that the specified intensity of ventilation is complied with. The waterproofing layer between the primary and secondary lining guarantees a substantial reduction of the water vapour evaporating from the lining. This layer also ensures regeneration of cracks in the lining, should any occur.

## 7. PROTECTION OF THE SURROUNDING BUILDINGS

The collectors' foundation base is practically a uniform, running along the whole length of the structure in depth of approximately 7,0m below the surface. The surface buildings in that area were built also with rather shallow foundations. It thus became necessary to arrange for the buildings to be protected against negative effects of the proposed tunnelling work. The extent of the buildings' protection was determined by evaluation of the geotechnical properties of soils found in the area, historic value and structural soundness of the buildings. Main forces acting on the buildings are due to the induced settlements and changes of the ground water table level. Impacts due to seismic activities generated by mining works did not have to be included in the evaluation.

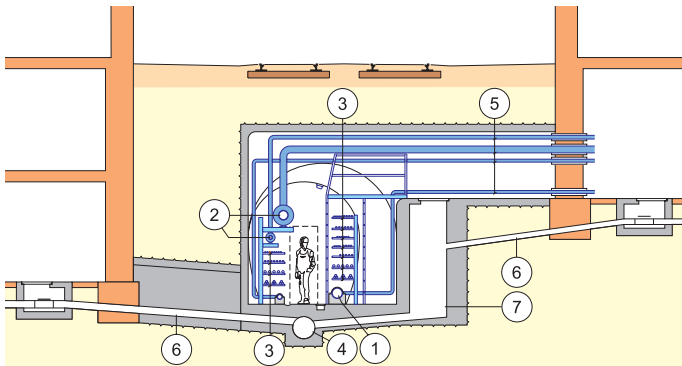
Settlement of the buildings was prevented by the installation of a curtain of jet-grouted columns provided between the collectors and these buildings. The originally proposed underpinning of the foundations of front walls of the structures was abandoned since the differences in the foundation conditions of individual walls would only lead to damage. The jet-grouted columns are arranged in such a way as not to create a continuous wall. Thus the ground water may pass through the curtain although some fluctuation in its level, due to this barrier, cannot be ruled out entirely. The total length of structures to be so protected is 340m, which is 21 % of the total route of the Phase II.

## 8. PROBLEMS ENCOUNTERED DURING ERECTION

It was known right from the beginning that the geology of the Phase II area would be more complicated than that of the Phase I. However, the source of the biggest problem to overcome was due to the inaccurate data concerning the position of the main sewerage at the Svoboda Square and Kobližna Street. This sewer was built in the first quarter of the 20th century. Its dimensions are 900/1450mm and 700/1050mm. The sewer was included in the Project in accordance with the drawing documentation available at the time. Furthermore, there was no reason to distrust claims made by the Sewer Supervisor. Verification of the drawings, especially after the subsequent modification to the civil structures (removal of the inspection shaft), was very difficult indeed. It was discovered only during the tunnelling that the sewer crossed the collector's path at a number of its sections. These problems had to be handled, so to speak, on the march.

Two different approaches were considered. The first approach was based on experiences gathered from the tunnelling in the Masarykova Street (Phase I.), see [1], where the existing egg-shaped sewer 500/750mm was installed in the cross-section dug out in the full profile whilst the sewer was operational.

The second approach, which was, due to the size of the sewer and its eccentric position, accepted, was the sequential excavation method under Kobližna Street. The excavation there could have been completed only after the sewer was relayed into the newly laid pipe in the base of the collector. The similar procedure had to

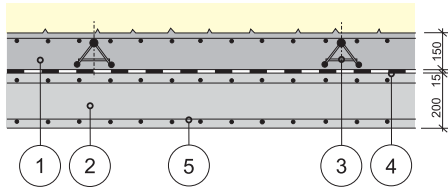


Obr. 6 Kolektorová přípojka - příčný řez

Fig. 6 Collector's connection - Cross section

Legenda / Legend:

- 1 Vodovod / Water supply
- 2 Centrální zásobování teplem / Centrally provided heating supply
- 3 Kabely silové a slaboproudé / Power and light current cables
- 4 Kanalizační stoka / Sewerage canal
- 5 Přípojky inženýrských sítí / Connection to engineering network
- 6 Domovní přípojka kanalizace / Domestic sewer connection
- 7 Kanalizační spadiště / Sewer apron



Obr. 8 Řez ostěním kolektoru

Fig. 8 Lining of collector - cross-section

Legenda / Legend:

- 1 Primární ostění (stříkaný beton) / Primary lining (shotcrete)
- 2 Sekundární ostění (stříkaný beton) / Secondary lining (shotcrete)
- 3 Příhradová výtuz / Lattice girder
- 4 Hydroizolace / Waterproofing
- 5 Vytuzná ocelová síť / Reinforcement by means of steel mesh

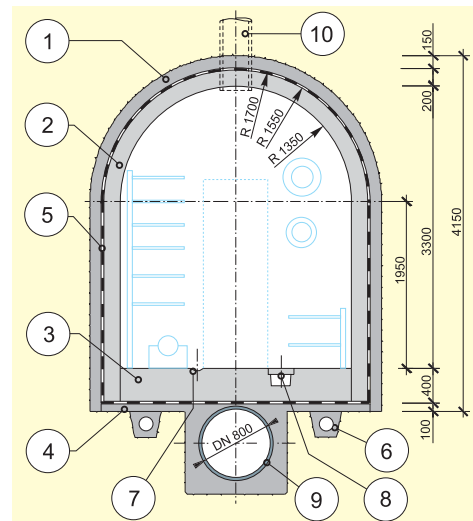
nevytvářela souvislou stěnu. Tak je zachována možnost pohybu podzemní vody, i když určité ovlivnění kolísání hladiny touto clonou nelze vyloučit. Toto ovlivnění je však podstatně menší, než by bylo v případě souvislé stěny. Celková délka zajištění objektů činí 340 m, což je 21 % délky trasy II. etapy.

## 8. PROBLÉMY PŘI PROVÁDĚNÍ

Před zahájením realizace II. etapy výstavby bylo známo, že geologické poměry jsou pro ražbu obtížnější, než byly v I. etapě. Hlavní problémy však přišly z jiné strany. Byla to především nepřesnost údajů o poloze stávající kmenové stoky na náměstí Svobody a v Koblížné ulici. Tato stoka o velikosti 900/1450, resp. 700/1050 mm, postavená v první čtvrtině 20. století, byla zanesena do projektu podle dostupných výkresových údajů, jejichž ověření pro následné stavební úpravy (zrušení revizních šachet) bylo obtížné, přičemž nebyl důvod údajům správce kanalizace nevěřit. Teprve při ražbě se ukázalo, že trasa kolektoru je v mnoha úsecích se stávající stokou v kolizi a bylo nutno za pochodu situaci postupně řešit. Byly uvažovány dva různé postupy. První vycházel ze zkušeností z ražby kolektoru v Masarykově ulici (1. stavba) - viz [1], kdy stávající vejčítá kanalizace 500/750 mm byla v průřezu raženém v plném profilu, přičemž stoka byla po celou dobu ražby plně funkční. Druhá možnost, která byla vzhledem k velikosti a excentrickému uložení stoky přijata, byla členěná ražba kolektoru v Koblížné. Teprve po převedení stoky do nově uloženého potrubí v podlaží kolektoru bylo možné ražbu dokončit. Obdobně bylo nutno změnit postup při ražbě některých komor a přilehlých kolektorů na nám. Svobody. Stávající stoka procházela i v místě hlavní těžní šachty na nám. Svobody. Negativní dopad na postup výstavby mělo i stárí vodovodního litinového potrubí, které několikrát na různých místech prasklo. To způsobilo potíže nejen v zásobování okolních objektů vodou, ale především při ražbě.

## 9. ZÁVĚR

Práce na výstavbě kolektoru byly zahájeny v únoru 2003. Požadavek Magistrátu města Brna, aby realizace jednotlivých staveb měla co nejmenší dopad na život v ulicích města, je zhotovitelé díla respektován. V historickém středu města dochází k minimalizaci výkopových prací, výraznému snížení hlučnosti, prašnosti atd. Zkrácení lhůty výstavby z předpokládaných 46 měsíců na 35 měsíců působí protichůdně - na přípravu a postup výstavby a koordinaci projekčních a stavebních prací klade značně vysoké nároky, pro život města je však výrazným přínosem. Z dosavadního průběhu prací se dá reálně předpokládat, že společným úsilím všech účastníků výstavby bude termín dokončení stavby listopad 2005 dodržen.



Obr. 7 Vzorový příčný řez kolektorem

Fig. 7 Collector typical cross-section

Legenda / Legend:

- 1 Primární ostění (stříkaný beton H V4-B25 s příhradovou ocelovou výtuzí a ocelovou sítí) / Primary lining (shotcrete H V4-B25 with lattice girders reinforcement and steel mesh)
- 2 Sekundární ostění vyztužené ocelovou sítí / Secondary lining (shotcrete H V4-B25 with steel mesh)
- 3 Železobeton H V4- B25 / Reinforced concrete H V4-B25
- 4 Beton prostý B15 / Plain concrete B 15
- 5 Vodotěsná izolace / Waterproofing
- 6 Drén DN80 (odvodnění během výstavby) / Drainage DN 80 (dewatering during erection)
- 7 Odvodňovací žlábk / Drainage groove
- 8 Kabelový kanálek / Cable duct
- 9 Stoka / Sewer
- 10 Chránička pro čištění kanalizace / The sewer cleaning pipe

be accepted for excavation of some chambers and adjacent collectors at the Svoboda Square. The existing sewer crossed even the main mining shafts at the Svoboda Square.

The construction works were further negatively influenced by the existing old cast iron water supply system, which cracked at a number of places and caused problems not only with the supply of water to the relevant buildings but also in the excavation operations.

## 9. CONCLUSION

Construction of the collectors commenced in February 2003. The Contractor has done all in his power to comply with the Brno Magistrate's request that the erection of individual sections of the Project should impact on the normal activities in the concerned streets as little as possible. The historic part of the city was thus affected minimally by open trenching, construction noise, dust, etc. Shortening of the erection period from 46 to 33 months complicates the preparation, erection, coordination of the design and construction works. However, the city welcomes it. On the basis of the progress achieved so far and the remarkable attitude of all participants, it is possible to say that the Works Completion Date set for December 2005, will be complied with.

## 10. LITERATURA / LITERATURE:

- [1] TUNEL 02/1994: Prof. Ing. Jiří Barták, ČVUT Praha, Ing. Frant. Dvořák - Výstavba podpovrchového kolektoru Josefská - Masarykova v Brně  
TUNNEL 02 / 1994: Prof. Ing. Jiří Barták, ČVUT Praha, Ing. Frant. Dvořák - Construction of the Underground Collector Josefská -Masarykova in Brno.
- [2] TUNEL 03/1997: Ing. Břetislav Sedláček, Aquatis a. s. - Výstavba sekundárních kolektorů v historickém jádru města Brna po 5 letech  
TUNNEL 03 / 1997: Ing. Břetislav Sedláček, Aquatis, a.s. - Construction of secondary collectors in the historic city of Brno after 5 years.
- [3] TUNEL 01/2003: Ing. Otakar Fabián, TUBES, spol. s r. o., Ing. Alexandra Hradská a Ing. Jan Sehnal, AQUATIS, a. s. - Rekonstrukce kmenové stoky v Brně financované z fondu PHARE  
TUNNEL 01 / 2003: Ing. Otakar Fabián, TUBES, s.r.o., Ing. Alexandra Hradská and Ing. Jan Sehnal, AQUATIS, a.s. - Reconstruction of Main Sewerage Route of the City of Brno - included in project PHARE
- [4] Sborník příspěvků z konference Beton v podzemních a základových konstrukcích - Česká betonářská společnost ČBSI, Praha, únor 2004  
"Concrete for underground and foundation structures" Conference Proceedings - Česká betonářská společnost ČBSI, Praha, February 2004.



# NUMERICKÉ POSOUZENÍ TUNELOVÝCH STAVEB V KRASOVÝCH HORNINÁCH

## NUMERICAL ANALYSIS FOR TUNNELS IN KARSTIFIED ROCK

DIPL.-ING. BRUNO MATTLE, DIPL.-ING. DR. TECHN. MAX JOHN, ING. ANDREAS SPIEGL

V jižním úseku vysokorychlostní trati Norimberk - Ingolstadt byly zastiženy zkrasové vrstvy "bílé jury". Přitom byly zjištěny krasové jevy v nejrůznějších formách. Vyskytují se zde krasové dutiny, pukliny nebo podzemní prostory, které jsou zcela nebo částečně vyplněné nebo jsou bez výplně. Krasové jevy ovlivňují vzhledem ke svým rozměrům a vzdálenosti od tunelu okamžitou stabilitu výrubu i dlouhodobou bezpečnost tunelu, a tím i dimenzování definitivního ostění. Krasové jevy ovlivňující definitivní ostění nejsou vzhledem ke svým rozměrům a rozsahu zjištěné nepřímými metodami z povrchu. Přímý průzkum prováděný z povrchu je vyloučen z důvodů ekonomických i provozně-technických. Průzkum rozhodujících krasových jevů v oblasti ovlivněné ražbou musí proto probíhat z raženého tunelu.

V rámci výstavby se v souvislosti se stabilitou tunelu objevují následující otázky, které je nutno řešit:

- Jaké krasové jevy mají vliv na stabilitu tunelové roury?
- Jak se mění zatížení působící na definitivní ostění vlivem krasových jevů?
- Do jaké míry podmiňují změny úložných poměrů dodatečná opatření?

Přímými a nepřímými metodami průzkumu byly v blízkosti tunelu zjištěny krasové jevy ovlivňující jeho stabilitu. Anomálie prokázané nepřímými metodami byly ověřovány přímým průzkumem a zjišťovány jejich geotechnické vlastnosti.

The southern section of the high-speed railway line Nuremberg - Ingolstadt encountered karstified layers of "the White Jurassic" formation. Various forms of karstic phenomena were identified, i.e. karst cavities, karst crevices or underground caverns, which are completely or partially filled or without a fill. Because of their dimensions and distance from the tunnel, the karstic phenomena affect both the instantaneous stability of the excavation and long-term safety of the tunnel, therefore they also affect the structural design of the final lining. Due to their dimensions and extent, the karstic phenomena affecting the final lining are not detectable by indirect methods from the ground level. A direct survey performed from the ground level is impossible for economic and operational-technical reasons. Therefore, the survey of major karstic phenomena within the area affected by excavation must be carried out from the inside of the excavated tunnel space.

The following stability issues emerged in the framework of the construction work, which must be solved:

- Which of the karstic phenomena do affect the tunnel stability?
- How does the load acting on the final liner change due to the karstic phenomena?
- Up to what extent do changes in bedding conditions result in additional measures?

The survey, using direct and indirect methods, detected karstic phenomena in a vicinity to the tunnel affecting its stability. The direct survey proved anomalies. Using indirect survey methods the anomalies were verified and their geotechnical properties were determined.

### 1. VLIV KRASOVÝCH JEVŮ NA STABILITU TUNELOVÉ ROURY

#### 1.1 Stabilita krasových podzemních prostor

Z literatury a na základě zkušeností získaných při ražbě tunelů v krasových oblastech je známo, že krasové podzemní prostory jsou stabilní a se zásadním nárůstem zkrasování lze počítat pouze z hlediska geologického času. Stabilita samotných podzemních prostor a jejich případné zvětšování nejsou dále zkoumány.

#### 1.2 Koncentrace napětí mezi krasovým podzemním prostorem a tunelovou rourou

Při ražbě tunelu v blízkosti stávajícího podzemního krasového prostoru dochází v horninovém masivu ke koncentraci napětí. Pro stanovení vyšetřované oblasti je třeba početně posoudit stabilitu zbývajícího horninového pilíře.

#### 1.3 Horninový tlak na definitivní ostění

U tunelů dochází k tomu, že se primární ostění v průběhu času rozpadá a zatížení horninovým tlakem přebírá definitivní ostění. Krasové dutiny v blízkosti tunelové roury způsobují změnu průběhu napětí, která vede k nerovnoměrnému působení na definitivní ostění. Proto je každý krasový jev, který má zásadní vliv na napjatost v okolí tunelové roury, třeba podrobit samostatnému zkoumání.

### 1. IMPACT OF KARSTIC PHENOMENA ON TUNNEL TUBE STABILITY

#### 1.1 Stability of karstic underground spaces

It is well known from literature and from experience obtained during excavation work in karstic regions that karstic underground spaces are stable, and a significant increase in the karstification extent can be considered in terms of geological time only. For that reason the stability of those underground spaces and their extension, if any, is not further examined.

#### 1.2 Stress concentration between a karstic underground space and a tunnel tube

Stress concentration occurs in a rock mass during a tunnel excavation in a vicinity to a karstic cavity. It is necessary for the identification of the zone to be examined that the stability of the rock pillar remaining between the tunnel and the cavity is assessed by a structural analysis.

#### 1.3 Rock pressure on the final liner

It is typical for tunnels that primary liners deteriorate with time, and final liners take the rock pressure then. Karst cavities in a vicinity to a tunnel tube induce a change in the stress distribution, which results in uneven loading on the final lining. This is why any karstic phenomenon having significant influence on the state of stress in a vicinity of the tunnel tube must be examined separately.

### 2. VÝPOČTY PRO STANOVENÍ OVLIVNĚNÉ OBLASTI

#### 2.1 Parametry

Největší vliv na stabilitu tunelové roury mají otevřené krasové jevy. Proto jsou prováděny numerické výpočty, které určují rozsah oblasti těmito jevy ovlivněné. Je vhodné je provádět formou parametrických studií, ve kterých jsou variovány jednak mechanické parametry horninového masivu, jednak geometrické parametry podzemních prostor (tvar, poloha a velikost). Tvar dutiny je odvozen z geologické dokumentace ražby tunelu a dokumentace morfologie krasové oblasti. V případě vysokorychlostní trati Norimberk - Ingolstadt jsou popsány výsledky pro mírně až silně zvětřalé vápence, kterým jsou přiřazeny hodnoty uspořádané v tabulce 1.

### 2. CALCULATIONS FOR DETERMINATION OF THE INFLUENCED ZONE

#### 2.1 Parameters

Carst caverns with no filling influence the stability of the tunnel tube most of all. For that reason numerical calculations are conducted that determine the extent of the zone influenced by these phenomena. Proper method for the calculations are parametric studies, where variations of both mechanical parameters of the rock mass and geometrical parameters of the underground caverns (their geometry, position and size) are taken into consideration. The cavity geometry is obtained from geological documentation obtained during the tunnel excavation and documentation on the given karstic region morphology. The results of the parametric study are described for moderately to heavily weathered limestones as an example. The properties attributed to the limestones are shown in Table 1.

Tab. 1 Výpočetní hodnoty (Properties for analysis)

Modul při přitížení	250 - 500 C
Modul při opětovném přitížení	400 - 800 MN/m <sup>2</sup>
Modul při odlehčení	600 - 1200 MN/m <sup>2</sup>
Poissonovo číslo	0,35
Úhel vnitřního tření	30 - 35°
Soudržnost	0,15 - 0,30 MN/m <sup>2</sup>
Koeficient bočního tlaku	0,4 - 0,8
Objemová hmotnost	24 kN/m <sup>3</sup>

Table 1 Properties for analysis

Modulus (loading)	250 - 500 MN/m <sup>2</sup>
Modulus (reloading)	400 - 800 MN/m <sup>2</sup>
Modulus (unloading)	600 - 1200 MN/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio	0.35
Internal friction angle	30 - 35°
Cohesion	0.15 - 0.30 MN/m <sup>2</sup>
Horizontal ground pressure coefficient	0.4 - 0.8
Specific weight	24 kN/m <sup>3</sup>

Cílem výpočtů je definice minimální velikosti podzemního prostoru, který musí být průzkumem zjištěn, v závislosti na vzdálenosti od tunelu. Parametrická studie je provedena pro charakteristické parametry horninového masivu a nenařazuje průkaz stability definitivního ostění tunelu.

#### 2.2 Výpočetní postupy

Matematické modelování je prováděno metodou konečných prvků za použití nelineárních materiálových zákonů.

Pro modelování je nejprve stanoven stav primární napjatosti z vlastní váhy horninového masivu. Následně je modelován stávající tvar krasového podzemního prostoru, přičemž jsou ze systému odstraněny odpovídající elementy. Tak je před vlastním výrubem tunelu zjištěn stav napjatosti oslabeného masivu. V dalších krocích je modelována ražba tunelu, vestavění definitivního ostění a rozpad primárního ostění.

Z toho vyplývají následující kroky výpočtu:

- stav primární napjatosti,
- vytvoření krasového podzemního prostoru,
- odlehčení (zohlednění 3D efektu na čelbě),
- ražba tunelu a osazení primárního ostění,
- vestavění definitivního ostění ve stavu bez napětí,
- rozpad primárního ostění.

### 2.3 Výpočetní model

Příčný řez tunelu na vysokorychlostní trati Norimberk - Ingolstadt má šířku cca 14,5 m a výšku cca 11,5 m. Tloušťka stříkaného betonu primárního ostění je průměrně 25 cm a tloušťka definitivního ostění 35 cm. Protože lze na základě geologické dokumentace předpokládat, že některé krasové jevy dosahují v podélném směru značných rozměrů, jsou výpočty prováděny jako dvourozměrné modely kontinua, tj. krasové dutiny jsou modelovány jako "nekonečně dlouhé". Tento předpoklad leží na straně bezpečnosti. Ve výpočtech jsou tvary podzemních krasových prostor zjednodušeny. Prostory jsou modelovány v proměnné poloze, různé velikosti i vzdálenosti od tunelu.

Tab. 2 Geometrické vztahy

Velikost dutiny	2,5 m / 5 m	5 m / 10 m	> 10 m
Poloha dutiny	dole	na boku	v nadloží
Vzdálenost dutiny	2,5 m	5 m	10 m
Převažující rozměr	vertikální	horizontální	-

### 2.4 Zatížení horninového pilíře

Protože je hornina v tunelovém stavitelství považována za nosný element, je při posuzování stability zásadním faktorem únosnost horninového pilíře. Pro průkaz stability nejsou rozhodující lokální špičky napětí, nýbrž celková únosnost pilíře. Na vodorovném řezu pilířem je proto stanoven střední faktor zatížení (strenght factor). Ten je určen jako poměr mezi mezním napětím, které je pilíř schopen za předpokladu Mohr-Coulombova kritéria porušení přenést a stávajícím napětím. Za dostatečný je považován součinitel bezpečnosti 1,4.

### 2.5 Zatížení horninové desky

Pokud leží krasová dutina pod tunelovou rourou, je zatěžována zbývající horninová deska mezi tunelem a podzemním prostorem svou vlastní vahou, vestavbami a železničním provozem. Při velmi malé tloušťce desky může dojít k porušení smykem nebo k selhání v tahu za ohybu. Pro různé vzdálenosti dutin od tunelu byly analogicky odvozeny faktory zatížení. Jako kritérium byl stanoven, stejně jako v případě horninového pilíře, koeficient bezpečnosti 1,4.

### 2.6 Zatížení definitivního ostění

Při selhání primárního ostění dochází k přenosu jeho zatížení na horninový masiv a definitivní ostění. Výskyt krasových jevů je příčinou nesymetrických zatěžovacích obrazců a proměnlivých poměrů uložení. Pro posouzení vlivu krasových dutin na dimenzování definitivního ostění jsou výpočty bez krasových dutin porovnávány s výpočty, ve kterých je vliv podzemních prostor zohledněn. Z tohoto porovnání je odvozena změna zatížení definitivního ostění. Za relevantní jsou považovány podzemní prostory, jejichž vliv způsobuje takový přírůstek maximálních okrajových napětí, který v porovnání se situací bez krasových dutin zvyšuje jejich hodnoty o více než 10 % přípustného napětí. Jako přípustné napětí je stanovena výpočetní hodnota pevnosti betonu v tlaku pro beton B35 ve výši  $\delta_{zul} = 23/2,1 = 10,95$  MPa.

### 2.7 Deformace definitivního ostění

Přeszkupení napětí aktivované vlivem rozpadu primárního ostění způsobuje obvykle velmi malé deformace, takže toto kritérium není rozhodující.

### 2.8 Výsledky

Vyhodnocením uvedených kritérií - zatížení horninového pilíře, zatížení horninové desky, zatížení definitivního ostění a deformace definitivního ostění - je definována rozhodující velikost podzemní dutiny v závislosti na vzdálenosti od tunelové roury. Tím jsou definovány požadavky na rozsah průzkumu. Od vzdálenosti 10 m od okraje podzemního prostoru jsou například za podstatné považovány prostory s maximálním rozměrem větším než 10 m.

The aim of the calculations is to define a minimum size of an underground cavern that must be detected by the survey, depending on its distance from the tunnel. The parameter study is carried out for characteristic parameters of the rock mass. It does not replace a proof of the final tunnel lining stability.

### 2.2 Calculation methods

Mathematical modelling is carried out by the Finite Element Method, using non-linear material laws.

For the modelling purpose, the primary stress state is determined from the dead weight of the rock mass. Subsequently, the existing geometry of the karstic underground space is modelled, while corresponding elements are removed from the system. This is the way the stress state of the weakened massif is determined properly before the tunnel excavation. The other steps consist of modelling the tunnel excavation, installation of the final liner, and disintegration of the primary liner.

The following computation steps follow from the above-mentioned concept:

- primary stress state
- creation of the karstic underground space
- stress release (consideration of the 3D effect at the face)
- tunnel excavation and installation of primary lining
- installation of final lining in the stress-free state
- disintegration of primary lining

### 2.3 Calculation model

The cross-section of the tunnels on the Nuremberg - Ingolstadt railway line is about 14.5 m wide and about 11.5 m high. The shotcrete primary liner is 25 cm thick on average, and the final liner is 35 cm thick. As it is possible to assume, on the basis of the geological documentation, that some karstic phenomena assume considerable dimensions in the longitudinal direction, the calculations are carried out using two-dimensional continuum models (the karstic cavities are modelled as "infinitely long"). This is a conservative assumption. The geometry of the underground caverns is geometrically simplified for the calculations. They are modelled assuming variable positions, various sizes and distances from the tunnel.

Table 2 Assumed dimensions

Cavity dimensions	2.5 m / 5 m	5 m / 10 m	> 10 m
Cavity position	at the bottom	on the side	above the crown
Cavity distance	2.5 m	5 m	10 m
Orientation	Vertical	Horizontal	-

### 2.4 Rock pillar loading

As rock is considered as a load-bearing element in the field of tunnel construction, the rock pillar bearing capacity is the basic factor for the stability assessment. It is the overall bearing capacity, not local stress peaks, that is deciding for the proof of stability. For that reason a mean strength factor is determined on the horizontal section through the pillar. This factor is determined as a ratio of the limiting stress that the pillar is capable of carrying (on the assumption that Mohr-Coulomb fracture criteria applies) to the existing stress. The safety coefficient of 1.4 is considered sufficient.

### 2.5 Rock slab loading

If the karst cavity is found under the tunnel tube, the rock slab remaining between the tunnel and the underground cavity is loaded by its own weight, by built-in structures and railway traffic. If the slab thickness is very small, a shear failure or flexural tensile failure can occur. Loading factors were derived analogically for various distances of cavities from the tunnel. The safety coefficient of 1.4 was determined as the criterion, the same as in the case of the rock pillar.

### 2.6 Final liner loading

Once the primary liner has failed, the load on this liner is transferred to the rock mass and the final liner. The karstic phenomena occurring along the tunnel induce asymmetric loading patterns and variable bedding conditions. For the purpose of assessing the influence of karst cavities on the strength design of the final liner, the calculations neglecting the karst cavities are compared to calculations taking the influence of underground spaces into consideration. The change in the stress is deduced from this comparison. Those underground spaces are considered as relevant whose influence induces such an increment to the maximum boundary stresses which increases their values by more than 10% of the allowable stress compared with the karst-cavity-free situation. The design value of C35 concrete compressive strength  $\delta_{zul} = 23/2,1 = 10,95$  MPa is determined as the allowable stress.

### 3. VÝPOČTY PRO DIMENZOVÁNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

#### 3.1 Postup

Dimenzování definitivního ostění v oblasti ovlivněné krasovými jevy vyžaduje doplnění obvykle používaných výpočetních postupů zvláštním posouzením. Pro každý zastižený nebo průzkumem objevený podzemní prostor, který podle dříve popsanych posouzení ovlivňuje stabilitu tunelové roury, jsou prováděna zvláštní posouzení a případně stanovena zvláštní opatření.

Přitom můžeme rozlišovat mezi aktivními a pasivními opatřeními. Aktivní opatření zamezují v porovnání s běžným stavem (bez dutin) zvýšenému namáhání definitivního ostění horninovým tlakem. K aktivním opatřením patří vyplňování a zainjektování podzemních prostor. Při použití pasivních opatření můžeme předpokládat, že žádné zvláštní posuzování definitivního ostění není potřeba. Pasivní opatření přebírají zvýšená zatížení. Patří k nim zesílení definitivního ostění (tloušťka, výztuž), změna geometrie definitivního ostění nebo spodní klenby, spojení bloků definitivního ostění a jiná konstrukční opatření.

Tato opatření musí odpovídat stavu techniky a ekonomickým hlediskům. Musí zaručit dlouhodobou stabilitu a bezpečnost tunelu. Vlastní výpočty definitivního ostění musí být prováděny se zohledněním skutečných okrajových podmínek. Jsou zohledněny výplně podzemních prostor a jejich materiálně-technické vlastnosti.

#### 3.2 Příklad 1 - Velká krasová dutina stranou od tunelové roury

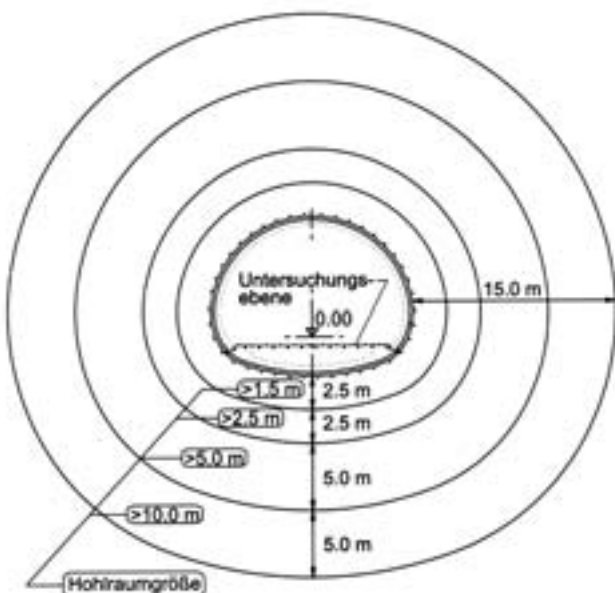
Jako příklad uvádíme statický výpočet velké krasové dutiny zastižené na tunelu Irlahüll na vysokorychlostní trati Norimberg - Ingolstadt. Jedná se o asi 50 m hlubokou krasovou propast o průměru cca 5 m, jejíž horní hrana leží na úrovni vrcholu tunelové klenby. V oblasti horních 15 m je podzemní prostor diskovitě rozšířen a dosahuje délky 15 m.

Vzhledem k bezprostřední blízkosti tunelu a podzemního prostoru hrozí nebezpečí, že při aktivaci definitivního ostění dojde ke kolapsu horninového pilíře. Tím by došlo k jednostrannému odstranění opory definitivního ostění a následně ke zvýšenému zatížení a deformaci ostění.

K dosažení dostatečné únosnosti okolního horninového masivu bylo původně plánováno vyplnění dutin v blízkosti tunelu. K tomu potřebná opatření jsou velmi nákladná, neboť vyžadují vestavět do prostoru tvaru propasti ztracené bednění. Alternativně se naskýtal možnost zesílit odpovídajícím způsobem definitivní ostění tak, aby bylo schopno přenést asymetrická zatížení vlivem jednostranného podepření. To by vyžadovalo přeprofilování. Proto bylo provedeno statické posouzení celého systému hornina - ostění, aby bylo možno zjistit, zda horninový pilíř poskytuje dostatečnou podporu definitivnímu ostění a od dalších opatření bylo možno upustit.

#### VÝPOČETNÍ MODEL

Pro početní posouzení byl použit trojrozměrný model metody konečných prvků. Hornina byla modelována prostřednictvím trojrozměrných prvků kontinua s Mohr-Coulombovým materiálovým modelem.



Obr. 1 Modelové zobrazení reálného a idealizovaného tvaru podzemního prostoru

Fig. 1 Developing the analysis model from real cavity to idealized geometry

#### 2.7 Final liner deformation

The stress redistribution activated by the disintegration of the primary liner usually causes very small deformation; therefore this criterion is insignificant.

#### 2.8 Results

The deciding size of an underground cavity versus the distance from the tunnel tube is defined by assessing the above-mentioned criteria (rock pillar stress, rock slab stress, final liner stress, final liner deformation). This is how the requirements for the survey extent are defined. For the distances exceeding 10 m from the underground cavern, for instance, cavities whose maximum dimension exceeds 10 m are considered significant.

### 3. CALCULATIONS FOR THE FINAL LINER DESIGN

#### 3.1 Procedure

Designing a final liner to be built in a region affected by karstic phenomena requires additional considerations compared to the usually applied calculation procedures. Special assessments are performed and, if needed, special measures are determined for each underground cavity detected by the survey if, according to the above-mentioned assessments, the cavity affects the tunnel tube stability. In doing so, we can distinguish between active and passive measures. The active measures prevent increased stressing (compared to the stressing under common conditions, i.e. in a state without cavities) of the final lining by the rock pressure. The active measures consist of filling the underground spaces with rock or grout. In the case of application of the passive measures, we can expect that no special assessment of the final liner is necessary. The passive measures (increasing the bearing capacity of the liner, i.e. its thickness or reinforcement, changing the final lining or invert geometry, connecting the final lining blocks, and other structural measures) receive the increased loads.

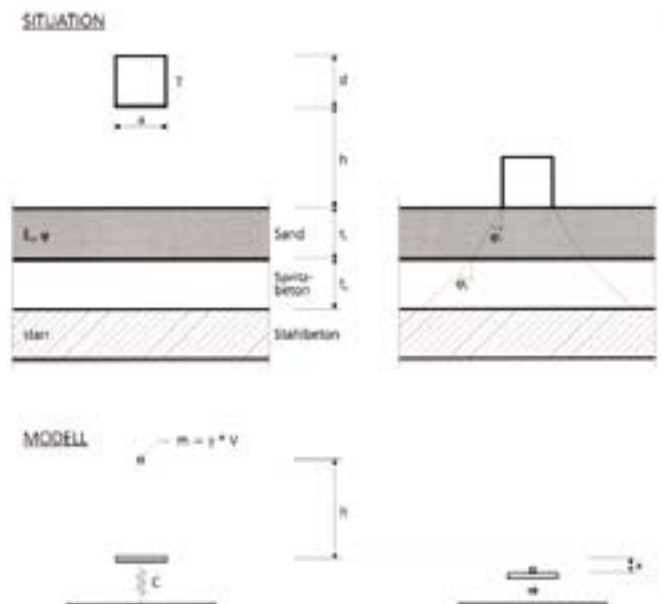
The above measures must match up to the available equipment and economic aspects. They must guarantee long-term stability and safety of the tunnel. The tunnel lining calculations must be carried out taking actual boundary conditions into consideration. The fills of the underground spaces and their material and technical properties are taken into consideration.

#### 3.2 Example - An extensive karst cavity beside the tunnel tube

Our example presents a structural analysis of an extensive karst cavity encountered at the Irlahüll tunnel found on the Nuremberg - Ingolstadt railway line. The cavity is an about 50 m deep karst abyss, about 5 m in diameter. Its upper edge is at the level of the tunnel vault crown. In the region of upper 15 m, the underground space is widened in a disc-like manner, reaching a width of 15 m.

Because of the close proximity of the tunnel to the underground space, there is a threat that the rock pillar will collapse when the final liner is activated. This would result in a one-sided removal of the final liner support, followed by increased loading and deformation of the liner.

To reach sufficient bearing capacity of the surrounding rock mass, there was originally a plan to fill the cavities in the vicinity of the tunnel. The measures required for this solution are very expensive because a built-in sacrificial shutter follo-



Obr. 2 Variování geometrie na příkladu vertikální dutiny

Fig. 2 Example for the geometrical variation of a "vertical" cavern

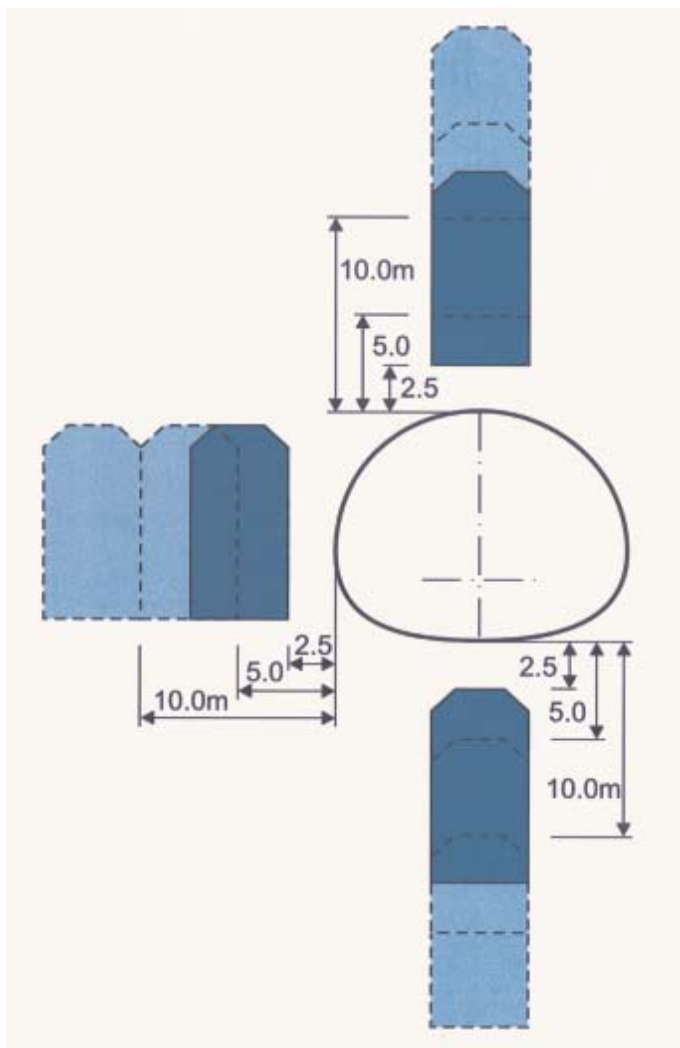
Primární a sekundární ostění bylo do výpočtu zavedeno zakřivenými skořepinovými elementy o tuhosti  $E = 7\,000\text{ MN/m}^2$  pro primární ostění a  $E = 30\,000\text{ MN/m}^2$  pro sekundární ostění. Vstup do podzemního prostoru byl během ražby zaplombován až 100 cm silnou vrstvou stříkaného betonu, což bylo při výpočtu zohledněno aktivací příslušných elementů.

Pro dosažení reálného stavu napjatosti byla ve výpočtu po aktivaci primární napjatosti nejprve vytvořena krasová dutina a následně simulován výrub tunelu. V příslušných úsecích byla vyražena kalota a vestavěny elementy ostění ze stříkaného betonu. V dalších krocích byl sledován postupně výrub jádra a počvy se zajištěním stříkaným betonem v příslušných úsecích. V posledním kroku bylo ve stavu bez napjatosti aktivováno definitivní ostění a odstraněny elementy primárního ostění (selhání primárního ostění). Pro ověření použitých parametrů horninového masivu byly hodnoty vypočtených deformací porovnány s hodnotami deformací naměřenými během ražby.

## VÝSLEDKY

V oblasti krasové dutiny dochází před ražbou tunelu k velkému prostorovému přeskupení napětí. Oblasti horninového masivu ležící v blízkosti dutiny jsou podstatně více zatěžovány. Při ražbě tunelu jsou v oblasti sousedící s dutinou prokázána zvýšená zatížení primárního ostění ze stříkaného betonu. To se také odráží v namáhání definitivního ostění.

Pro ražbu kaloty byly zjištěny přetížené zóny, většinou v horninovém pilíři mezi tunelem a dutinou. Pro posouzení stability horninového pilíře došlo v dalším výpočtu k redukci pevnosti horninového masivu na 60 % původní hodnoty. Tím došlo podle očekávání k dalšímu rozšíření přetížených zón. Protože i při těchto výpočtech bylo dosaženo konvergence výsledků, lze horninový pilíř nadále považovat za nosný element. Na základě výsledků výpočtů bylo možno upustit od nákladných sanací podzemních prostor. Zatížení definitivního ostění, ke kterým dochází po selhání primárního ostění, mohou být přenesena původně plánovanou tloušťkou definitivního ostění.



Obr. 3 Zatížení horninového pilíře  
Fig. 3 Strength Factor in the rock pillar

wing the geometry of the cavity would be necessary. Alternatively, there was an option to strengthen the final lining properly so that it could carry the asymmetric loading resulting from the one-side support mode. This solution would require reprofiling. For the above reason a structural analysis of the entire rock-liner system was carried out with the aim of determining whether the rock pillar provided sufficient support of the final liner, thus other measures were unnecessary.

## CALCULATION MODEL

A three-dimensional finite element model was used for the mathematical assessment. The rock was modelled using three-dimensional continuum elements with the Mohr-Coulomb material model.

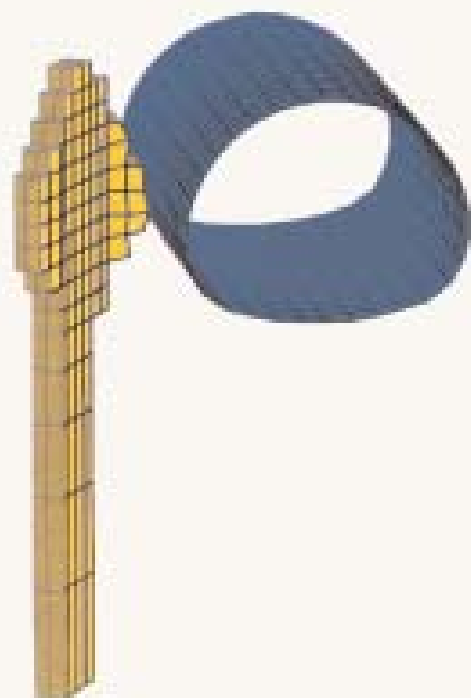
The primary and secondary liners were introduced into the calculation using curved shell elements with the stiffness  $E = 7\,000\text{ MN/m}^2$  for the primary liner and  $E = 30\,000\text{ MN/m}^2$  for the secondary liner. The entrance to the underground space was sealed up in the course of the excavation by an up to 100 cm thick layer of shotcrete. This measure was allowed for in the calculation by activation of relevant elements.

To achieve a realistic state of stress, the karst cavity was created first in the calculation, after activation of the primary stress. The simulation of the tunnel excavation followed. The top heading was excavated in the respective sections, and elements of the shotcrete lining applied. The other steps consisted of bench and invert excavation with application of shotcrete in the relevant sections. In the last phase, the final liner was activated in a stress-free state and the primary lining elements were removed (the failure of the primary liner). For the purpose of verification of the applied rock mass parameters, the values of the calculated deformations were compared with the values of deformations measured in the course of the excavation.

## RESULTS

Major stress redistribution occurs in the region of the karst cavity before the tunnel excavation. The rock mass regions found in the vicinity of the cavity are stressed significantly more. Increased stresses in the shotcrete primary lining have been proven in the area neighbouring with the cavity in the course of the tunnel excavation. This fact is also reflected in the final liner.

Overstressed zones were determined for the top heading excavation, mostly in the rock pillar between the tunnel and the cavity. To assess the stability of the rock pillar, the rock mass strength was reduced to 60% of the original value for the following calculation. As expected, this act resulted in further expansion of the overstressed zones. As convergence of the results was achieved even in those calculations, the rock pillar can be still considered as a load-bearing element. Based on the calculation results, the expensive rehabilitation of the underground spaces could be excluded. The loads on the final liner resulting from the failure of the primary liner can be carried by the originally designed thickness of the final liner.



Obr. 4 Deformace tunelového ostění a průběh ohybových momentů v případě dutiny v oblasti boku tunelu

Fig. 4 Deformations of the tunnel lining and distribution of bending moments resulting from a cavern beside the tunnel

### 3.3 Příklad 2 - podzemní dutina v nadloží tunelu

U dutin situovaných nad vrcholem tunelu je vedle změny stavu napjatosti navíc zohledněno možné oddělování bloků horniny. V závislosti na možné výšce pádu a velikosti bloku uvolněné horniny plynou značná zatížení definitivního ostění. Pro utlumení účinků zatížení je za ostění ze stříkaného betonu zafoukána vrstva písku. Odhad velikosti účinků na definitivní ostění je proveden na základě energetického posouzení problematiky nárazu. Přitom je zohledněn roznos zatížení vrstvou písku a primárním ostěním ze stříkaného betonu. Vrstva písku je ve výpočtu uvažována jako pružinový element.

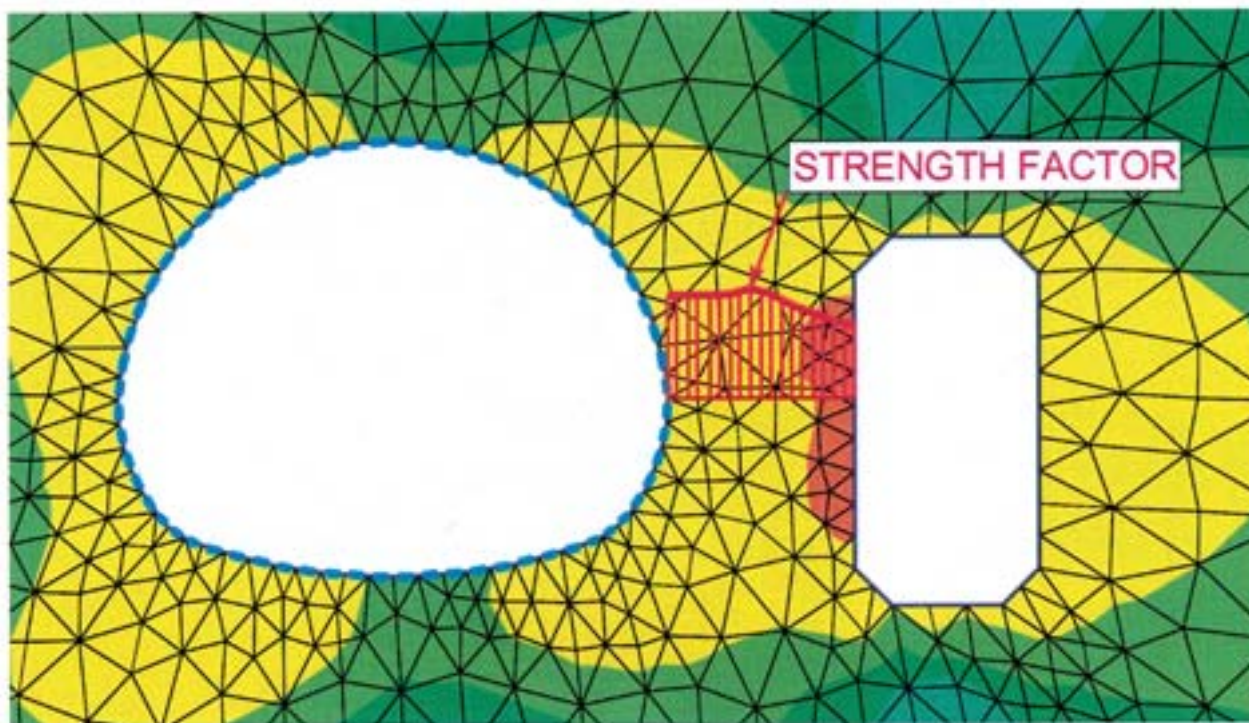
Jsou přijaty následující předpoklady:

- Náraz probíhá plně plasticky, nedochází ke zpětnému odrazu od vrstvy písku.
- Vrstva písku je ve výpočtu zohledněna jako elastické uložení: z modulu pružnosti a tloušťky vrstvy písku je stanovena elastická tuhost pružiny; při největším stlačení pružiny dochází k největším účinkům na definitivní ostění.
- Rozdělení zatížení mezi vrstvou písku a stříkaného betonu: největší stlačení vzniká bezprostředně na kontaktní ploše horninového bloku a vrstvy písku, čímž je zatížení rozneseno; ve vrstvě písku dochází k roznášení zatížení pod úhlem  $\varphi$ , ve stříkaném betonu pod úhlem  $45^\circ$ .

### 3.3 Example 2 - a karst cavity above the tunnel crown

For cavities situated above the tunnel crown, apart from the change in the stress state, a possibility of separation of rock blocks is taken into consideration. Significant loads on the final liner can occur in case these blocks drop on the final lining, depending on the possible drop height and size of the respective rock block. A layer of sand is blown behind the final liner to damp the impact of this loading. The estimation of the impact on the final liner is carried out on the basis of the energy assessment of the impact issue. This assessment allows for distribution of the load provided by the sand layer and the shotcrete primary liner. The sand layer is considered in the calculation as a spring element. The following assumptions are adopted:

- The impact course is fully plastic, no rebound from the sand layer occurs
- The sand layer is considered in the calculation as elastic bedding: the elastic spring constant is determined from the modulus of elasticity and thickness of the sand layer; the biggest impact on the final liner occurs at the biggest depression of the spring.
- Load distribution between the sand layer and shotcrete layer: the biggest depression originates immediately on the rock block and sand layer contact plane; the load is distributed in the sand layer at an angle  $\varphi$ , in the shotcrete layer at a  $45^\circ$  angle.



Obr. 5 Deformace tunelového ostění a průběh ohybových momentů v případě dutiny v oblasti boku tunelu

Fig. 5 Deformations of the tunnel lining and distribution of bending moments resulting from a cavern beside the tunnel



Obr. 6 Dutiny relevantní z hlediska stability tunelu  
Fig. 6 Cavities relevant for the tunnel stability



Obr. 7 Krasový podzemní prostor stranou od tunelové roury (zobrazení bez sousedních elementů horniny)  
Fig. 7 Karst-cavity beside the tunnel (displayed without surrounding rock elements)

Platí následující fyzikální vztahy:

Energetická bilance plně plastického rázu

$$\bar{E}_s = mgh$$

$$\bar{E}_s = \frac{cx^2}{2} - mgx$$

$$\bar{E}_s = \bar{E}_s \Rightarrow$$

$$x = \frac{mg}{c} + \sqrt{\left(\frac{mg}{c}\right)^2 + \frac{2mgh}{c}}$$

kde:

$$mg = \gamma V = \gamma a^2 d$$

$$c = \frac{E_s}{t_s} a^2 \text{ (tuhost pružiny)}$$

Maximální síla v pružině:

$$F = cx$$

Tlak na povrch vrstvy písku:

$$p_s = \frac{cx}{a^2}$$

Tlak na definitivní ostění:

$$p_f = \frac{cx}{(a + t_s \tan \varphi_1 + t_s \tan \varphi_2)^2}$$

Tloušťka vrstvy písku je navržena tak, aby byla schopna převzít účinky zatížení na definitivní ostění. Na obrázku 8 jsou znázorněny účinky zatížení definitivního ostění jako funkce výšky pádu a tloušťky vrstvy písku.

#### 4. ZÁVĚR

Výstavba tunelů v krasových horninách vyžaduje vedle speciálních opatření při ražbě tunelu výpočty posouzení stability definitivního ostění. Po ražbě je okolí tunelu prozkoumáno do takové vzdálenosti, do které mají krasové jevy na stabilitu tunelové roury vliv. Pro stanovení rozsahu průzkumu je vhodné použít numerické modelování, protože vystihuje geometrické tvary a geomechanické poměry. Pro posouzení je doporučeno používat konzervativní předpoklady, aby rozsah průzkumu byl dostatečně široký.

Pro jednotlivé krasové jevy, které mají vliv na stabilitu a provozuschopnost tunelu, jsou nutné detailní výpočty zohledňující trojrozměrné chování horninového prostředí. To umožňuje realisticky vystihnout jak horninový tlak na definitivní ostění, tak úložné poměry. Tím jsou splněny nezbytné předpoklady pro dimenzování definitivního ostění v oblastech postižených krasovými jevy.

Text byl přeložen z německého originálu článku uvedeného v časopise Felsbau 1/2003 s laskavým svolením Velag Glückauf GmbH. Překlad do češtiny Libor Mařík.

#### LITERATURA:

- (1) Pöttler R., Schneider V., Rehfeld E., Quick H.  
Grundkonzept zur Lösung der Karst- und Erdfallproblematik für den Bau von Verkehrswegen  
Felsbau 20 (2002) Nr. 3, strana 10 - 21
- (2) Neubaustrecke Nürnberg Ingolstadt; Tunnel Irlahüll  
Bergmännische Bauweise Bau-km 59+650 bis 66+800  
Odvození parametrů horniny  
Nezveřejněno
- (3) Könnings H.D., John M., Pöttler R., 1987  
Auslegung der Tunnel-Innenschalen im Südabschnitt der Neubaustrecke Hannover-Würzburg.  
Beton- und Stahlbetonbau 12, strana 320-324

#### REFERENCES:

- (1) Pöttler R., Schneider V., Rehfeld E., Quick H.  
Grundkonzept zur Lösung der Karst- und Erdfallproblematik für den Bau von Verkehrswegen  
Felsbau 20 (2002) Nr. 3, page 10 - 21
- (2) Neubaustrecke Nürnberg Ingolstadt; Tunnel Irlahüll  
Bergmännische Bauweise Bau-km 59+650 bis 66+800  
Determination of rock parameters  
Unpublished
- (3) Könnings H.D., John M., Pöttler R., 1987  
Auslegung der Tunnel-Innenschalen im Südabschnitt der Neubaustrecke Hannover-Würzburg.  
Beton- und Stahlbetonbau 12, page 320-324

The following physical relationships apply:

The energy balance of a fully plastic impact

$$\bar{E}_s = mgh$$

$$\bar{E}_s = \frac{cx^2}{2} - mgx$$

$$\bar{E}_s = \bar{E}_s \Rightarrow$$

$$x = \frac{mg}{c} + \sqrt{\left(\frac{mg}{c}\right)^2 + \frac{2mgh}{c}}$$

Where:

$$mg = \gamma V = \gamma a^2 d$$

$$c = \frac{E_s}{t_s} a^2 \text{ (spring constant)}$$

Maximum spring force:

$$F = cx$$

Pressure on the sand layer surface:

$$p_s = \frac{cx}{a^2}$$

Pressure on the final liner:

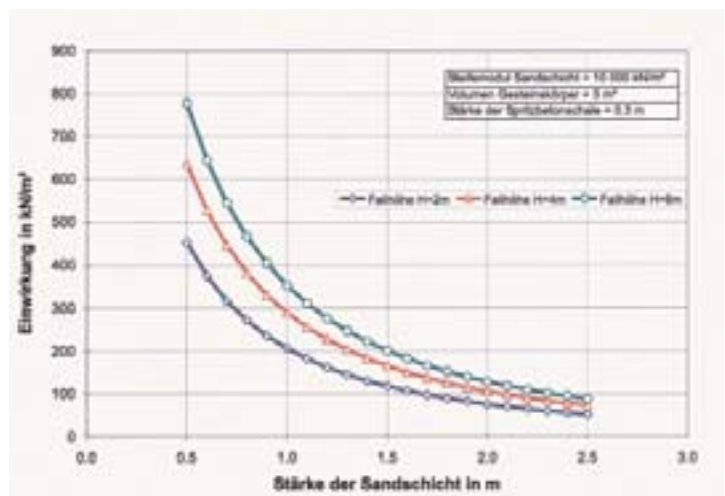
$$p_f = \frac{cx}{(a + t_s \tan \varphi_1 + t_s \tan \varphi_2)^2}$$

The thickness of the sand layer is designed with respect to the task of the layer to receive the impacts of the load on the final liner. The impacts of the load on the final liner as a function of the fall height and the sand layer thickness are shown in Fig. 8.

#### 4. CONCLUSION

Any tunnel construction passing through karstic rock requires, apart from special measures during the tunnel excavation, calculations for assessment of the final liner stability. Once the tunnel excavation has been completed, the rock mass around the tunnel is surveyed up to a distance up to which the karstic phenomena affect the tunnel stability. It is advisable for the determination of the survey scope to apply the numerical modelling as it gives a true picture of geometry and geomechanical conditions. It is recommendable for the assessment to use conservative assumptions, so that the survey scope is sufficiently wide. Detailed calculations allowing for the three-dimensional behaviour of the rock environment are necessary for particular karstic phenomena affecting the tunnel stability and operability. This allows giving a true picture of both the rock pressure on the final liner and the bedding conditions. Thus the prerequisites for designing the final liner in areas affected by karstic phenomena are met.

The text is a translation of a German original of the paper published in the magazine Felsbau 1/2003, carried out with a kind approval by Velag Glückauf GmbH. Czech translation by Libor Mařík.



Obr. 8 Účinky padajících horninových bloků na definitivní ostění  
Fig. 8 Impact on the inned lining due to falling blocks

## ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ TUNELŮ PROTI ÚČINKŮM TEPLOT DOSAHOVANÝCH PŘI KATASTROFICKÝCH POŽÁRECH

### INCREASING RESISTANCE OF CONCRETE TUNNEL STRUCTURES AGAINST TEMPERATURES ACHIEVED IN CATASTROPHIC CONFLAGRATIONS

ING. JIŘÍ SMOLÍK, SEKRETÁŘ SEKCE TUNELŮ ČESKÉ SILNIČNÍ SPOLEČNOSTI  
SECRETARY OF THE TUNNELS SECTION OF THE CZECH ROAD ASSOCIATION

#### ÚVOD

Katastrofické požáry v alpských tunelech roku 1999 významně ovlivnily a ještě stále ovlivňují rozhodování o zajištění bezpečnosti v tunelových úsecích dopravních komunikací. Důležitou součástí přijímaných opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu v tunelech je zvyšování požární odolnosti jak technologických systémů řízení a provozování tunelů, tak i zvyšování požární odolnosti jejich stavebních konstrukcí.

#### Rozhodující požadavky a souvislosti řešení požární odolnosti betonových konstrukcí dopravních tunelů

Zmíněné katastrofické požáry způsobily, kromě dalších škod, také devastaci betonových konstrukcí obezdívek v rozsahu stovek metrů. Tato skutečnost si vynutila náhlé uzavření dopravní cesty vedoucí tunely s přesuny velkého objemu silniční dopravy na nepřipravené náhradní komunikace. Již sama kapacitní nedostatečnost náhradních pozemních komunikací byla příčinou vzniku rozsáhlých ekonomických ztrát. Nedostatečnost náhradních komunikací ovšem přinášela dále, zejména na dopravních trasách nahrazujících průjezd tunelem Gotthard ve Švýcarsku, také významné zvýšení množství závažných dopravních nehod, a tím vznik dalších ekonomických ztrát.

Diskuse o všech opatřeních ke zvýšení bezpečnosti po katastrofických požárech přinesla také nové prověřování požadavků kladených na bezpečnost pracoviště hasičských jednotek na místě zásahu při likvidaci požáru v dopravním tunelu. Logickým požadavkem hasičů je co nejméně ohrožování zasahujících hasičských jednotek vystřelovanými částmi betonových konstrukcí obezdívek, což způsobuje přetlak vodní páry.

Konstrukce obezdívek dopravních tunelů, které jsou vybudovány několik desítek metrů pod úrovní hladiny vody, musí být ochráněny proti jakémoliv devastaci. Důsledkem devastace konstrukce obezdívky tunelu by při tomto umístění dopravního tunelu byla devastace celého dopravního díla.

#### Dosavadní řešení požární odolnosti betonových konstrukcí obezdívek dopravních tunelů

U rozhodujícího počtu doposud vybudovaných tunelů se příprava jejich realizace nároky na zvýšení základní požární odolnosti betonů ostění samostatně nezabývala. Pouze u dopravních tunelů, pro které je vzhledem k jejich umístění pod hladinou vody riziko devastace konstrukce v důsledku vnitřního katastrofického požáru rizikem zničení dopravní cesty, je zřizována protipožární ochrana obezdívky tunelu obkladem jejího vnitřního povrchu. Jedním z použitých řešení z posledního období je vnitřní obložení dálničního tunelu Westerschelde v Nizozemsku. Stěny a strop panelových obezdívek dvou tunelů byly nad úrovní vozovky obloženy plechem z nerezové oceli krytým 4,5 cm vrstvou stříkané malty. Tato konstrukce při délce obou tunelů 6,5 km představovala u uvedeného tunelu úpravu povrchu o celkové ploše 240 tis. m<sup>2</sup>. Tunel byl uveden do provozu v březnu roku 2003.

#### Dosavadní stav požární odolnosti betonových konstrukcí dopravních tunelů v ČR

Bezpečnost v tunelech na pozemních komunikacích ČR je jednou ze součástí činnosti sekce Tunely ČSS. Již v roce 1988 byly do činnosti sekce přizváni ministrem vnitra jmenovaní zástupci Hasičského záchranného sboru a Policie ČR. Jednou ze součástí činnosti sekce je také organizování studijních cest k poznávání důležitých technických řešení evropských dopravních tunelů. V roce 2000 byla například

#### INTRODUCTION

Catastrophic conflagrations in Alpine tunnels in 1999 affected significantly and are still affecting the decision-making process regarding safety in road sections passing through tunnels. A significant part of the measures adopted with the aim of improving the safety of tunnel operation is increasing the fire safety of both tunnel management and operation systems, and increasing the fire safety of tunnel structures.

#### Deciding requirements for, and contexts of, solution to fire safety of traffic tunnel concrete structures

The above-mentioned catastrophic conflagrations caused, apart from other damage, destruction of concrete liners in ranges reaching hundreds of meters. This fact forced immediate closures of the roads passing through the tunnels, associated with transfers of large traffic volumes to unprepared alternate routes. The insufficiency of the alternate routes' capacity itself caused serious economic losses. The lack of alternate routes, namely along traffic routes replacing the passage through the Gotthard tunnel in Switzerland, also caused significant increase in the number of serious traffic accidents, thus other economic losses.

The discussion on all measures intended to improve the safety after the catastrophic conflagrations also brought new examination of requirements for safety at workplaces of fire brigades at the intervention location while suppressing a fire inside a traffic tunnel. It is logical that fire fighters require that the threat faced by intervening fire brigades due to parts of concrete lining structures shot out by overpressure of vapour be as low as possible.

The lining of traffic tunnels built several tens of meters under the groundwater table must be protected against any damage. Damage to a tunnel lining structure, in the case of a similarly located tunnel, would result in destruction of the entire traffic works.

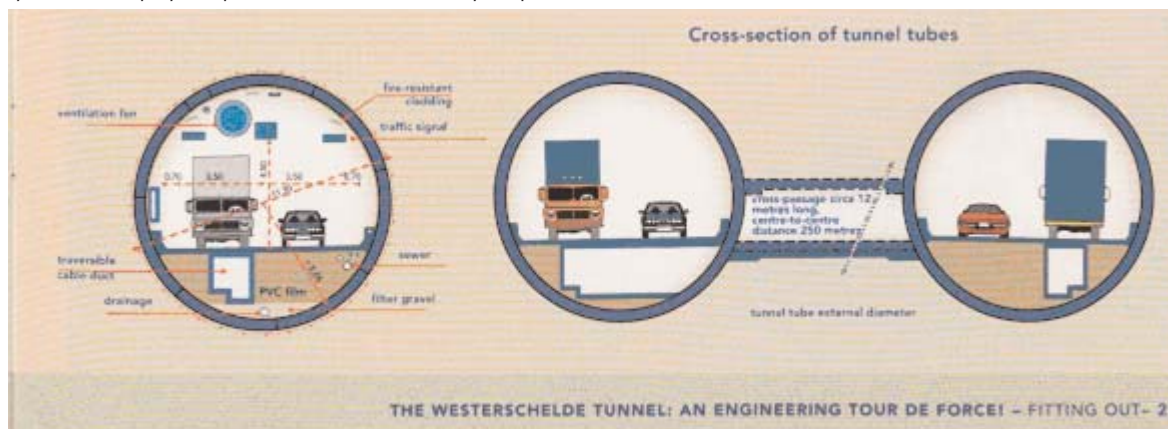
#### Previous method of ensuring fire safety of concrete lining of traffic tunnels

For most of hitherto built tunnels the requirements for improvement of basic fire safety of concrete liners have not been solved separately.

Fire protection of the tunnel lining by cladding its internal surface is provided only for traffic tunnels for which the risk of destruction of the structure in case of conflagration due to their position under the water table would mean a risk of shutting down the traffic route. One of recently applied solutions is the internal cladding of the Westerschelde highway tunnel in the Netherlands. Walls and roof decks of panel liners of the two tunnel tubes were clad with stainless steel sheets covered with 4.5cm thick layer of sprayed mortar. The area of this cladding structure, at the length of the two tunnels of 6.5 km, achieved 240 thousand m<sup>2</sup>. The tunnel was opened to traffic in March 2003.

#### Current state of fire resistance of concrete structures of traffic tunnels in the CR

Safety in road tunnels in the CR is one of the parts of the ČSS (Czech Road Association) Tunnel section's work. As early as 1988, the representatives of the Fire Rescue Service and The Police of the CR, were nominated by the Ministry of the Inte-



Obr. 1 Příčné řezy tunelu Westerschelde  
Fig. 1 Westerschelde tunnel - cross sections

organizována cesta na výstavbu tunelu Westerschelde, v letech 1999 a 2003 na obdobné technické řešení čtvrtého dálničního tunelu pod Labem v Hamburku. Členové sekce rovněž spolupracují na vytváření legislativních podmínek pro výstavbu a provozování tunelů na pozemních komunikacích ČR. V rámci této činnosti byla v roce 2003 do revize Technických podmínek MD č. 98 začleněna mezinárodně uznávaná křivka nárůstu teplot uvnitř tunelu při požáru nákladního vozu v tunelu. Údaje vyplývající z níže uvedené křivky tvoří základ koncepce bezpečnostních opatření jak odkazovaných TP MD č. 98, tak i koncepce stejných opatření u probíhající revize ČSN 737507 Projektování tunelů na pozemních komunikacích ČR.

V rámci integrovaného záchranného systému ČR jsou rozmisťovány jednotky Hasičského záchranného sboru na území ČR na základě vyhodnocení rizik území, jeho zástavby a umístěných technologií. U tunelových částí pozemních komunikací je rozmisťování organizováno tak, aby byla zajištěna činnost jednotek na místě při požáru v tunelu v intervalu 7 - 10 min.

Všechny doposud vybudované betonové konstrukce obehdivků tunelů na pozemních komunikacích nemají schopnost odolávat výše uvedenému tepelnému zatížení bez destrukce.

Údaje výše uvedené křivky proto vyvolaly nové diskuse o zvýšení ochrany betonových konstrukcí tunelů s cílem zabránit jejich devastaci a omezit vystřelování nebezpečných úlomků. Také na území ČR je nezbytné přihlížet k riziku ekonomických ztrát vzniklých v důsledku uzavření kteréhokoliv z doposud zprovozněných devíti tunelových úseků na pozemních komunikacích a riziku ztrát a škod vzniklých z převedení dopravy na náhradní trasy. Současné dopravní využití všech tunelových úseků je vykazováno na úrovni neklesající pod 20 tis. vozidel/24 hod.

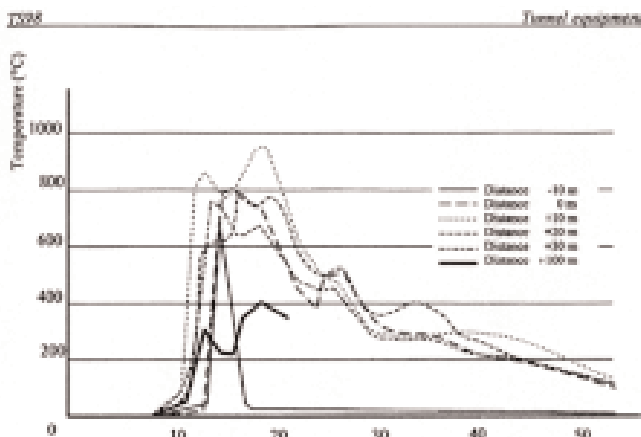
#### Návrh řešení zvýšení požární odolnosti betonových konstrukcí obehdivků dopravních tunelů na území ČR

Vzhledem k tomu, že katastrofický požár může vzniknout v dopravním tunelu nejen kdykoli ale také na kterémkoliv místě tunelu, musí být opatření ke zlepšení požární odolnosti betonové konstrukce obehdivky tunelu navrhována vždy pro celý rozsah této konstrukce. Doposud používané buď celoplošné /Westerschelde/, nebo částečné /čtvrtý tunel pod Labem v Hamburku/ protipožární obklady vnitřních ploch tunelů jsou značně nákladné.

V březnu roku 2002 vydala v Rakousku společnost Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik směrnice Richtlinie Faserbeton. Pokyny směrnice pro přidávání polypropylenových vláken k zabezpečení zvýšené požární odolnosti betonových konstrukcí také v dopravních tunelech jsou již v Rakousku používány na prvních stavbách dopravních tunelů. Jak je potvrzeno státními zkušebními v Rakousku, dochází přidáním polypropylenových vláken k příznivé změně chování betonové konstrukce při jejím zatížení teplem. Zatížení betonových konstrukcí tepelným namáháním odpovídajícím křivce uvedené v TP č. 98 MD ČR vede, při přidání 1 kg vláken/m<sup>2</sup>, k omezení odpryskávání betonové konstrukce do hl. pouze prvních 5 cm od vnitřního povrchu. V rámci prvního mezinárodního symposia Safe and Reliable Tunnels, které proběhlo v Praze ve dnech 4. - 6. 2. 2004, diskutoval autor článku použití v Rakousku zaváděných opatření ke zvýšení požární odolnosti betonových konstrukcí tunelů také s předsedou dosavadní komise C5 PIARC/AIPCR. V diskusi byla potvrzena naléhavost potřebného zvýšení požární odolnosti předmětných konstrukcí. Mezinárodní silniční společnost, stejně jako řada jejích členských zemí /SRN, Slovensko, Francie/, čeká na potvrzení zkouškami naznačených možností v právě probíhající realizaci betonážní obehdivky silničních a železničních tunelů v Rakousku.

#### ZÁVĚR

Na území ČR byly v závěru loňského roku zahájeny ražby tunelů Panenská na dálnici D8 a Valík na dálnici D5. Betonáž těchto tunelů bude pravděpodobně zahájována ve druhé polovině letošního roku a v roce 2005. I přes to, že jsou časové možnosti pro nezbytné provedení všech zkoušek potřebných k používání polypropylenových vláken pro uvedený účel v ČR do termínu zahájení uvedené betonáže velmi omezené, bylo by přesto vhodné tyto zkoušky co nejdříve zahájit. Již téměř desetileté zkoumání této možnosti zlepšení požární odolnosti betonových konstrukcí tunelů v nerůznějších zemích /Anglie, Norsko/ a jeho současné zavádění v sousedním Rakousku jsou dostatečným důvodem pro ověření této možnosti pro stejný účel na území ČR.



Obr. 2 Časový průběh teplot při požáru nákladního vozidla  
Fig. 2 Heat buildup at a lorry fire

rior, invited to participate in the work of this section. One of the parts of the section's activities is also organising study tours for learning significant technical solutions of traffic tunnels in Europe. In 2000, for instance, a tour to the Westerschelde construction site was organised, similar technical solution was studied on the highway tunnel under the Elbe in Hamburg in 1999 and 2003.

Members of the section also participate in the elaboration of legislative conditions for construction and operation of road tunnels in the CR.

In the framework of this activity, an internationally recognised curve of heat buildup in a tunnel during a lorry fire in a tunnel was incorporated into a revision of the Technical Specifications TP No.98, issued by the Ministry of Transport. Data following from the curve shown below form the basis of the conception of safety measures, both those referred to in the above-mentioned TP MD No.98 and those contained in the ČSN 73 7507 Design of Tunnels on Roads in the CR, being currently reviewed.

Fire fighting units are located within the area of the CR in the framework of the integrated rescue system on the basis of an assessment of risks to the given area, its development and installed technologies. Regarding tunnelled portions of the roads, the process of location organised in a manner ensuring an action of the units at the spot of the fire in the tunnel within an interval of 7 - 10 min.

Not all of the till now built road tunnel liners are capable of resisting the above-mentioned heat loading without destruction.

The above-mentioned curves therefore raised new discussions on improvement of protection of concrete tunnel structures, with the aim of preventing their destruction and reducing the dangerous phenomenon of shooting out concrete fragments. It is necessary, for the area of the CR too, to take into consideration the risk of economic losses due to a closure of any of the nine currently operating road tunnels, and the risk of losses and damage due to the diversion of the traffic to alternate routes. Current reports show the traffic exploitation of all tunnelled sections at a level not falling below 20 thousand vehicles per 24 hours.

#### Proposal on the solution of improvement of fire safety of concrete structures of traffic tunnels in the CR

Because of the fact that a catastrophic conflagration can occur in a traffic tunnel not only any time, but also at any place of the tunnel, the measures designed to improve the fire resistance of the concrete tunnel liner must cover the entire tunnel length. The fire protection cladding of internal surfaces in tunnels used till now, i.e. either the full-surface covering system (the Westerschelde), or the partial covering (the fourth tunnel under the Elbe in Hamburg), are extremely expensive. In Austria, the Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik issued the directives Richtlinie Faserbeton in March 2002. Specifications for addition of polypropylene fibres (to improve the fire safety of concrete structures in traffic tunnels too) are being used in Austria on the first traffic tunnels. As confirmed by state testing laboratories in Austria, the addition of polypropylene fibres results in a favourable change in the behaviour of a concrete structure when loaded by heat. The addition of 1 kg of the fibres per m<sup>2</sup> of concrete reduces the concrete bursting depth to initial 5 cm or less from the internal surface in the case of loading of concrete structures by the heat stress corresponding to the curve contained in the TP No.98 MD CR.

Using the opportunity of the first international symposium the Safe and Reliable Tunnels, which was held in Prague from 4 to 6 Feb. 2004, the author of this paper discussed the application of the measures introduced in Austria with the aim of improving the fire resistance of concrete tunnel structures with the chairman of the hitherto committee C5 PIARC/AIPCR. The discussion confirmed the urgency for a solution to the improvement of safety of the structures in question. The International Road Association, as well as a number of its member nations (the FRG, Slovakia, France) expect that the possibilities outlined by the testing will be confirmed on road and railway tunnel concrete liners in Austria, being under construction.

#### CONCLUSION

Excavation of two tunnels started in the CR at the end of the past year, i.e. the Panenská and the Valík tunnel on the D8 and D5 motorway respectively. Casting of the tunnels is likely to start in the second half of this year and in 2005. Despite the fact that the time available for the necessary execution of all testing required for the application of the polypropylene fibres to the given purpose in the CR by the term of commencement of the above-mentioned casting is very limited, it would be advisable to start the testing. The research into this method of improving fire safety of concrete tunnel structures which has been carried out in various countries (England, Norway) for nearly a decade, and the current application of the system in neighbouring Austria are sufficient reasons for us to test this solution for the same purpose in the Czech Republic.



## HISTÓRIA A SÚČASNOSŤ STREČNIANSKÝCH TUNELOV

## STREČNO TUNNELS

ING. IVETA ŠNAUKOVÁ, KATEDRA GEOTECHNIKY ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## 1. ÚVOD

Strečnianske tunely sú vybudované na trati č. 180 Žilina - Košice. Je to jedna z tratí na Slovensku v smere východ - západ, časť bývalej Košicko-bohumínskej železnice, dnes I. hlavný ťah Čadca - Žilina - Košice - Čierna nad Tisou. Na tejto 242 km dlhej trati sa nachádza 6 dvojkofajných a 2 jednokofajné tunely. Dvojkofajná trať zo Žiliny smerom na Košice sa za zástavkou Strečno rozdeľuje na dva jednokofajné úseky. Po ich prechode cez strečnianske mosty ponad Váh vzápätí ústi do dvoch samostatných tunelov. Za týmito tunelmi sa trať opäť spája na dvojkofajnú a následne vchádza do dvojkofajného tunela. Trať je elektrifikovaná a cez tunely jazdia elektrické rušne. Nad tunelmi vedie štátna cesta č.18/ E50.

K rozsiahlejšej rekonštrukcii strečnianskych tunelov v roku 2001 prikrčili ŽSR z vlastných zdrojov. Vzhľadom na finančnú náročnosť daných opráv nemohli byť odstránené na tuneloch všetky závady. Práce v tuneloch vykonali predovšetkým košické Železničné stavby, žilinská ELZA a Geomonta Harmanec v spolupráci so Správou železničných tratí a stavieb Žilina.

## 1. INTRODUCTION

The Strečno tunnels were built on the rail line from Žilina to Košice. This is one of the Slovakian lines heading from east to west, being part of the former Košice-Bohumín line, today the main Čadca - Žilina - Košice - Čierna nad Tisou line. There are 6 double-track and 2 single-track tunnels on this 242km-long line. The double-track line from Žilina toward Košice splits into 2 single-track sections. After passing the Strečno bridges across the Váh River, the tracks enter two separate tunnels. The tracks rejoin after the tunnels, and enter (as a double-track line) a double-track tunnel. The rail line is electrified, with electrical trains running through the tunnels. The arterial road No.18/E50 leads above the tunnels.

A substantial refurbishment operation, funded by ŽSR (Slovakian Railways) from its own sources, started in 2001. Due to the high cost of the repairs, it was impossible to remove all the tunnel defects. The work in the tunnels was carried out mainly by Košice-based Železniční Stavby, Žilina-based ELZA and Geomonta Harmanec, together with Správa Železničných Tratí a Stavieb Žilina (Administration of rail tracks and buildings).

Traťový úsek Track Section	Názov tunela Tunnel Name	Evidenčné číslo Evidence Number	Dĺžka v m Length in m	Rok výstavby Construction period	Druh Type
2601	Strečno I	411	318,0	1937-1939	double-track
Košice - Strečno	Strečno II	412	593,0	1937-1939	single-track
	Strečno III	413	542,0	1871	single-track
		546,0	1937-1939		predĺžený pri zdvojkofajnení trate extended with the doubling of the track

## 2. GEOLOGICKÉ POMERY

Strečnianske tunely sa nachádzajú v jadrovom pohorí Malých Karpát v krivánskej časti. Táto oblasť je tvorená prevažne granitoidmi: biotitickými a dvojsľudovými žulami, autometamorfovanými granodioritmi a kremencami. V tesnej blízkosti tunelov tečie rieka Váh, ktorá sa tu zarezáva do pevných a odolných granitoidných hornín a vytvára prírodný výtvar - Domašínsky meander. V dolomitoch pri neďalekej Nezbudskej Lúčke sú impregnácie asfaltu, ktorý sa tu do roku 1935 aj ťažil.

## 2. GEOLOGY

The Strečno tunnels are found in the the Malé Karpaty core mountain range (the Little Carpathians), in the area of Kriváň Mountain. This area mainly consists of granitoids, i.e. biotite granite and binary granite, autometamorphosed granodiorites and quartzites. The Váh River, flowing in close proximity to the tunnels, has cut into the hard and sound granitoid rock massif, forming a natural monument, the Domašín Meander. The dolomites found nearby, at Nezbudská Lúčka, contain asphalt impregnations (asphalt was extracted there until 1935).

## 3. TUNEL STREČNO III.

Jeden z prvých tunelov, ktorý bol na tejto trati vybudovaný počas výstavby Košicko - bohumínskej železnice v roku 1871 je tunel Strečniansky III. v úseku Žilina - Poprad. Razilo sa rakúskou modifikovanou tunelovacou metódou v narušenej žule. Pevná, masívna žula sa nachádza len v strednom úseku tunela. V tejto oblasti je taktiež časť tunelovej rúry v dĺžke 6,3 m ponechaná bez obmurovky. Pri výstavbe bol použitý prevažne typ tunelového ostenia maďarský 600/526 (319,6 m), ktorý je prestriedaný s maďarským typom 560/526. Oblasť obidvoch portálov sú vybudované typom tunelového ostenia Z.N. Vo vjazdovom portáli sú hradidlové otvory proti povodňovej vlne z Váhu. Izoláciu proti vode v rube klenby tvorili cca 50 m od obidvoch portálov asfaltové dosky a zvyšok klenby bol na líci izolovaný škárovaním s prímiesou TRICOSALU. Odvodnenie tunela bolo v podstate nevyriešené. Odvodňovací kanál bol nevybudovaný, len z kopákov na sucho a začínal približne 150 m od vjazdového portálu. Slabou stránkou tunela bolo nízke osadenie v teréne voči rieke Váh. Niekoľkokrát sa stalo, že tunel bol pri vyššej hladine Váhu zatopený. V tomto období ešte križovala cesta trať úrovňovým prejazdom so závorami. Pri stavbe druhej koľaje v roku 1937 sa tunel predĺžil z pôvodných 542 m na súčasných 546 m, čím sa zrušilo križovanie cesty s traťou pred portálom tunela a cesta sa preložila nad tunel.

V roku 1945 nemecká armáda tunel značne poškodila. Oba portály sa zosunuli a poškodili hlavnú cestu prechádzajúcu ponad tunel. Pri obnove tunela bolo nutné vybudovať obidva portály a obnoviť všetkých 63 tunelových pásov.

## 3. STREČNO III TUNNEL

One of the first tunnels built on this rail line is the Strečno III tunnel. It was built within the Žilina - Poprad section during the construction of the Košice - Bohumín line in 1871. It was headed through fractured granite, using the Modified Austrian Tunnelling Method. Competent, massive granite is found within the central part of the tunnel. This part also contains a 6.3m-long section left without any lining. Application of the 600/526 Hungarian type of lining prevailed during the construction (319.6m), alternating with the 560/526 Hungarian type. The areas of both portals were built using the Z.N. tunnel lining type. Installation of stop logs is possible at the entrance portal to allow protection of the tunnel against a flood wave from the Váh River. The waterproofing system within a length of about 50m from both the portals consisted of asphalt plates on the exterior surface of the vault, the remaining part of the vault was pointed from the interior of the tunnel using an addition of TRICOSAL to the jointing material. The tunnel drainage was essentially unresolved. The drainage channel was not lined by brickwork. Chunk stone masonry without mortar, used for the channel lining, started roughly 150m from the entrance portal. A weak point of the tunnel was its low level in relation to the Váh River. It has happened several times that the tunnel was flooded when the Váh surface rose. At that time a level road crossing with barriers was operated. During the second track construction in 1937, the tunnel was extended from original 542m to the current length of 546m. The crossing of the road and railway before the tunnel portal was cancelled, and the road was relocated over the tunnel. In 1945, the German army damaged the tunnel considerably. Both portals col-

Prvá rekonštrukcia po vojne sa vykonala v roku 1987. Vzhľadom k tomu, že výška na trati trvala len 5 dní, bola urobená obnova koľají a problémy spôsobené vodou sa podarilo odstrániť len čiastočne a tak voda do tunela presakovala naďalej.

Ďalšej rekonštrukcie sa tunel dočkal v rokoch 2000-2001. V tuneli dlhodobopretrvávali problémy s výškou nivelety koľaje, výškou troleje a odvodnením tunela. Väčšia časť kamennej obmurovky mala vypadané škáry, deformácie ostenia boli pozorované len v dvoch pásoch. Situáciu v tuneli komplikovali aj káblové rozvody uložené v štrkovom lôžku. Štyri 3 kV zosilňovacie káble a jeden 6 kV kábel sa museli najprv uložiť do žlabov umiestnených na konzolách v obmurovke vo výške cca 2,5 m nad temenom koľajnice. Až po týchto úpravách sa mohlo pristúpiť k vlastným rekonštrukčným prácam.

Podkladom pre vypracovanie projektovej dokumentácie bol evidenčný list tunela, zápisy z prehliadok tunela v rokoch 1982, 1988, 1992, zápis z mimoriadnej prehliadky konanej v roku 1996, záznamy z prehliadky tunela pantografom, geodetické zameranie terénu nad vjazdovým portálom z roku 1997. Inžiniersko-geologický ani hĺbkový stavebný prieskum nebol vykonaný, pretože náklady na prieskumné práce boli neúmerne vysoké oproti vlastným stavebným nákladom.

Cieľom rekonštrukcie tunela bolo:

- oprava vypadaných škár,
- zriadenie zvodníc,
- oprava vypadaného a zvetraného betónu,
- výplňová a tesniaca injektáž.

Najväčší rozsah prác pripadlo na škárovanie. Škárovanie sa neobmedzilo len na tunelovú rúru, ale bolo treba opraviť aj škárovanie čelného múru vjazdového portálu a jeho krídla. V miestach, kde boli v ostení pozorované pukliny, sa použila výplňová injektáž z dôvodu zabezpečenia statického spolupůsobenia ostenia s horninovým masívom. Na utesnenie puklín na styku obmurovky a horniny sa použila tesniaca injektáž. Ako injektážny materiál sa použila chemická a ilovocementová suspenzia.

Pretože zavodnenie tunela bolo značné, obnovila sa nielen funkcia starých zvodníc ich prečistením, ale taktiež sa vybudovali v najzavodnenejších úsekoch zvodnice nové. Pre zvýšenie účinnosti zvodníc sa navŕtali 4 - 5 m odvodňovacie vrty dĺžky 4 - 5 m. Bol prečistený pozdĺžny odvodňovací žlab, ktorý už vôbec neplnil svoju funkciu a novovybudované zvodnice sa zaústili priamo doň. Ústie už jestvujúcich zvodníc je asi 30 cm nad súčasnou úrovňou koľajového lôžka. Pri čistení jednej zo zvodníc sa narazilo na lokálne ložisko asfaltu pričom asfalt zo zvodnice vytiekol.

Tie pásy, ktoré vykazovali deformáciu, sa zabezpečili zakotvením klenby. Použili sa trubkové oceľové kotvy dĺžky 3 m na konci opatrené kuželovitým klinom. Pre lepší účinok sa kotvy stabilizovali cementovou maltou.

Prvý záchranný výklenok zo strany vrútockého portálu bol od tohto portálu vzdialený až 80 m, čo nevyhovovalo požiadavkám ON 73 6301. Podľa tejto normy musia byť záchranné výklenky rozmiestnené v maximálnej vzdialenosti 25 m. V rámci rekonštrukcie bol vybudovaný nový bezpečnostný výklenok svetlých rozmerov šírka 2000 mm, výška 2000 mm, hĺbka 750 mm. Je umiestnený 40 m od vjazdového portálu.

Pri rekonštrukcii sa znížila niveleta koľaje cca o 30 cm a upravila sa výška troleje.

Aj napriek takto urobenej rekonštrukcii tunela Strečno III je jeho technický stav naďalej najhorší zo všetkých strečnian-ských tunelov a hodnotený číslom 3 na trojstupňovej stupnici hodnotenia. So zreteľom na pridelené financie rekonštrukcia neodstránila všetky závady. I keď bola znížená niveleta koľaje, tunel zostáva naďalej neprejazdný pre priechodný priezrez 1-SME. Vzhľadom na to, že pri výstavbe tunela sa použili tri tyto

*lapsed, and the main road running above the tunnel was damaged. It was necessary to erect both portals and restore all 63 tunnel "rings" (i.e. about 10m long tunnel tube sections).*

*The first reconstruction after the war was carried out in 1987. As the line was closed to traffic for 5 days only, the track was renewed, although the problems caused by water were removed partially only. The water seepage into the tunnel continued.*

*The other reconstruction of the tunnel took place in 2000-2001. Long-lasting problems about the vertical alignment of the track, height of the trolley line, and the tunnel drainage remained. Major part of the masonry lining pointing was missing. Deformations of the lining were observed within two rings. The situation in the tunnel was also complicated by cable lines embedded in the gravel ballast. Four 3kV power cables and one 6kV cable had to be placed in troughs, installed on brackets fixed about 2.5m above the top of rail to the tunnel lining. Only when these operations had been finished was the commencement of the reconstruction work proper possible.*

*The following documents were used as a basis for elaboration of the design: the tunnel registration sheet, tunnel inspection reports from 1982, 1988, 1992, the report on an irregular inspection carried out in 1996, the pantographic tunnel inspection report, results of a survey of the terrain above the entrance portal from 1997. Neither engineering-geological survey nor in-depth structural survey was performed because the cost of the surveys being inadequately high compared to the construction cost proper.*

*The objective of the tunnel reconstruction was:*

- to repair the pointing,
- to build cross drains,
- to repair the concrete damaged by spalling and weathering
- to carry out back-grouting and sealing grouting.

*The pointing claimed the largest portion of the work volume. It was not restricted to the tunnel tube only. The pointing of the front wall of the entrance portal and its wings had also to be repaired. Back grouting was carried out at locations where cracks in the lining were observed, so that the structural interaction between the lining and the rock mass were secured. The sealing grouting was applied to cracks at the lining and rock interface, using chemical and clay-cement suspension.*

*Because of the significant volume of water inflows into the tunnel, new cross drains were built in the most affected sections, in addition to rehabilitation of the existing cross drains by clearing them. To increase the efficiency of the cross drains, drainage boreholes were drilled to the rock mass up to a depth of 4 - 5 m. The longitudinal drainage duct, failing to perform its function, was cleared, and the newly built cross drains were connected to this duct. The mouths of existing cross drains are about 30cm above the current level of the ballast. A local deposit of asphalt was encountered during the drilling for one of the cross drains; the asphalt flowed out. The rings exhibiting deformations were supported by anchors installed to the vault,*

*using 3m long steel pipes, provided by a conical wedge at the end. To improve the action of the anchors, the anchors were stabilised in boreholes by cement mortar.*

*The first safety recess was at a distance of about 80m from the Vrútky portal. The distance did not meet the requirements of the ON 73 6301 standard. According to this standard, the safety recesses must be built at a maximum spacing of 25m. A new safety recess was built at a distance of 40m from the entrance portal (net dimensions: 2000mm wide, 2000mm high, 750mm deep).*

*The vertical alignment of the track was lowered approximately by 30cm, and the height of the trolley line was changed during the reconstruction.*

*Despite the reconstruction to the Strečno III tunnel carried out in the above-mentioned manner, its structural condition remains the worst of all Strečno tunnels (rated 3 on a three-degree evaluation scale). Because of the allotted funds, the reconstruction failed to remove all defects. In spite of lowering the vertical alignment of the track, the tunnel is still impassable*



Obr. 1 Celková situácia  
Fig. 1 General overview

tunelových ostení a výškový rozdiel medzi jednotlivými typmi je až 400 mm, tunel je namáhaný nepriaznivými dynamickými účinkami, ktoré vznikajú pri prechode vlakov. Presakovanie vody do tunela sa podarilo odstrániť len čiastočne. Nepriaznivý je taktiež stav pásov v blízkosti strečnianskeho výjazdového portálu, ktoré sa v klenbe intenzívne plošne zamokrujú (kvapká dážď). Táto závada sa ešte viac zväčšuje v zimnom období, kedy z ostenia visia mohutné cencúle. V tomto úseku je tiež značne poškodené škárovanie kameniva a samotné kamenivo vykazuje rozsiahlu degradáciu. V tuneli sa nachádza v súčasnosti 11 ochranných výklenkov, z toho len v štyroch pásoch sú vo vzájomnej vzdialenosti 25 m, čo je v súlade s normou.

#### 4. TUNEL STREČNO II.

Po rozhodnutí z roku 1937 zdvojkolajniť úsek zo Žiliny smerom na Košice sa súbežne s tunelom III. začal budovať tunel Strečniansky II. Je situovaný 20 až 80 m vedľa tunela III. a staval sa ako jednokolajný. Stavbu realizovala firma Müller&Kapsa. Železničné koľaje dodala firma Vítkovické železiarne a oceliárne v Moravskej Ostrave. Tunel bol razený rakúskou tunelovacou metódou. Výška nadložia je 180 m, svetlý tunelový prierez 5,5 / 5,7 m je jednotný po celej dĺžke tunela, klesanie v priamke má 4,7 % v celej dĺžke tunela (593 m).

Ustupujúcou nemeckou armádou bol tunel poškodený len na troch miestach. Zosunuli sa oba portály, čím bola poškodená cesta vedúca ponad tunel. Vo vnútri tunela ostali zaspané rušne, ale samotný tunel zostal bez väčšieho poškodenia. V oveľa väčšom rozsahu bol poškodený most nadväzujúci na tunel a tak sa obnova poškodených objektov vykonala za vylúčenia prevádzky súčasne.

V roku 1987 sa v tuneli obnovila koľaj a koľajové lôžko. V roku 2001 bola v tuneli opravená a vymenená koľaj a znížená jej niveleta.

Súčasný technický stav tunela je taktiež hodnotený číslom 3, ale pri porovnaní so Strečnom III. je jeho technický stav lepší. Tak isto nevyhovuje priechodnému prierezu 1-SME, no napriek tomu, že do tunela zateká, nevykazuje také veľké zamokrenie. V nedávnej minulosti bolo síce presakovanie vody do tunela väčšie, čo sa ale podarilo upraviť správnym odvodnením štátnej cesty č.18/E50, ktorá vedie nad tunelom. Odvodnenie cesty je riešené pomocou rigolu v sklone 10 %. V mieste, kde dochádza k stekaniu vody z príslušného svahu bol rigol prepadnutý, čo sa odstránilo zhotovením sklzu z kameňa do vrstvy betónu a jeho zaústením do rigolu pomocou vývaru.

#### 5. TUNEL STREČNO I.

Dvojkolajný tunel Strečniansky I. realizovala firma Müller&Kapsa rakúskou tunelovacou metódou v rokoch 1938 - 1939. Výstavbu tunela vyvolalo to, že násyp pre dvojkolajnú trať nebolo možné postaviť na úzkom priestore starej terasy vedúcej popri Váhu. Trasa tunela je vedená v oblúku s polomerom R 452 a svetlý tunelový prierez je 9.0/6,6 m. V dôsledku tlakových prejavov horninového prostredia väčšinu tunelových pásov tvorili pásy tlakové. Dĺžka

for the clearance profile 1-SME. Due to the fact that three tunnel lining types were used during the construction, with differences in the height of the particular types reaching 400mm, the tunnel is exposed to adverse effects of dynamic loading during train passage. The leaks were removed partially only. The condition of the rings in the vicinity of the Strečno exit portal, where areas of intensive water dripping from the vault occur, is also unfavourable. This defect becomes even worse in winter seasons when mighty icicles hang from the lining. This section also exhibits significant damage to the stone masonry pointing, and the masonry itself suffers from large-scale deterioration. There are 11 safety recesses in the tunnel; out of that number, the spacing of 25m required by the standard is maintained in four rings only.

#### 4. STREČNO II TUNNEL

The construction of the Strečno II tunnel started in parallel with the Strečno III tunnel, when the decision had been made in 1937 to double the track section from Žilina toward Košice. This single-track tunnel is situated at a distance of 20-80m from the tunnel III. The Müller-Kapsa company was the contractor for this project. Rails were supplied by the Moravska Ostrava-based company Vítkovické Železiarne a Oceliárne (Vítkovice iron-works and steel-works). The tunnel was mined using the Austrian Tunnelling Method. The overburden depth amounts to 180m, the net tunnel cross-section dimensions are uniform (5.5/5.7m), as well as the tunnel gradient (4.7% along a length of 593m).

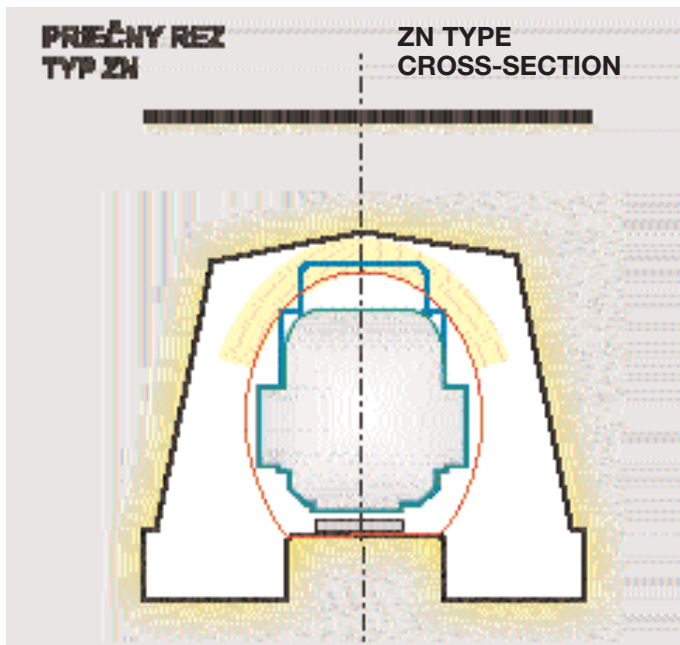
The retreating German army damaged the tunnel at three places only. Both portals collapsed, causing also damage to the road over the tunnel. Trains remained confined inside the tunnel, but the tunnel structure suffered no serious damage. The scope of the damage to the bridge connected to the tunnel was much worse. The repair of the damaged structures was therefore carried out simultaneously, with the traffic closed.

In 1987, the trackwork and ballast were renewed. In 2001, repair and replacement of the trackwork was carried out, and the vertical alignment of the track lowered.

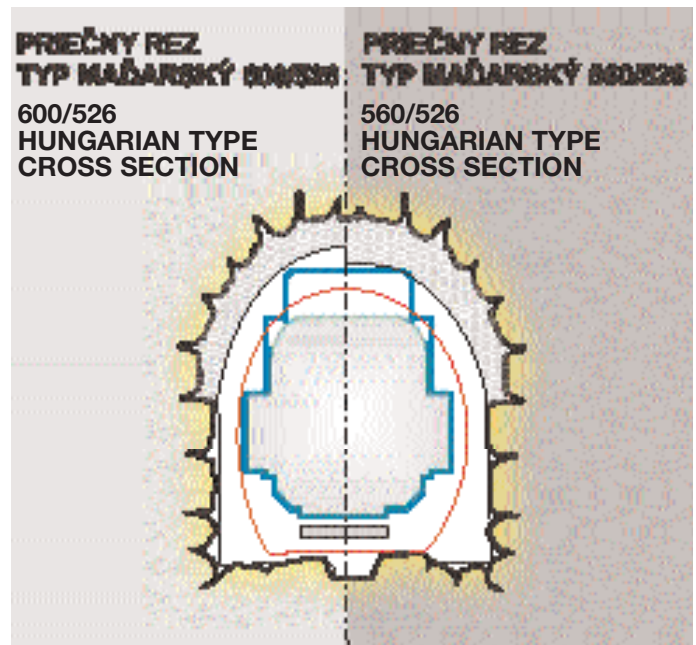
Current technical condition of the tunnel is also evaluated as degree 3, but it is better in comparison with the Strečno II tunnel. Nor does this tunnel meet requirements for the 1-SME clearance profile, but the leaks into the tunnel are not so serious. It is true that the leakage into the tunnel had been worse in recent times, but the condition was improved successfully by properly draining the arterial road No.18/E50 passing over the tunnel. The road drainage is solved by means of a ditch at a gradient of 10%. The ditch was damaged by sinking at a location where water flows from the adjacent slope. This defect was removed by building a chute lined with stone placed in a concrete layer, and a stilling pool built at its connection to the ditch.

#### 5. STREČNO I TUNNEL

The Strečno I double-track tunnel was constructed by the Müller-Kapsa company, using the Austrian Tunnelling Method, in 1938 - 1939. This tunnel construc-



Obr. 2 Nevyhovujúci priechodný prierez výjazdového a výjazdového portálu  
Fig. 2 Insufficient clearance profile of the entrance and exit portals



Obr. 3 Nevyhovujúce priechodné prierezy vo vnútri tunelovej rúry.  
Fig. 3 Insufficient clearance profile inside the tunnel tube

tunela je 318,0 m s maximálnym nadloží 34 metrov. Nadložie tvorí kompaktná žula. Obmurovka je zo sliezskej žuly. Krátke úseky pri portáloch boli realizované v otvorenom záreze a následne zasypané. Izolácie v tuneli sú z vodotesného betónu, pri portáloch je trojnásobný asfaltový náter a dve jutové vložky. Takto bol tunel ukončený a odovzdaný do prevádzky.

Poškodeniu počas II. svetovej vojny sa nevyhol ani tento tunel. Najskôr ho poškodili partizáni, aby zabránili postupu nemeckých vojsk. Tunel bol opravený len provizórne. Druhý krát bol poškodený ustupujúcou nemeckou armádou. Tunel bol sčasti zasypaný a oba portály boli zosunuté. S obnovou tunela sa začalo hneď v máji 1945 a do prevádzky bol daný už v roku 1946.

Pri rekonštrukcii štátnej cesty č. 18/E50, vedenej v tesnej blízkosti nad tunelovým objektom, nevhodným priradením jedného predportálového krídla zeminou, začala sa v tejto oblasti vŕňať trhlinka, ale po urýchlennom odťažení zeminou jej rozšírovanie ustalo.

Ďalšej väčšej rekonštrukcie sa tunel dočkal taktiež až v roku 2001. Od 24. 7. 2001 bola nepretržitá 10-dňová vyluka, počas ktorej bola nepretržitá vyluka, počas ktorej v tuneli prebiehala rozsiahla oprava koľají a koľajového lôžka. Problémy v tomto tuneli spôsobovala taktiež nedostatočná výška trakčného vedenia od nivelety koľaje - vlaky ho v oboch smeroch prechádzali so stiahnutým zberačom. Pri obmedzenej priestorovej priechodnosti vlaky s prekročenou nakladacou mierou mohli jazdiť iba po druhej traťovej koľaji. Otázka odvodnenia tunela nie je taká akútna ako v predchádzajúcich tuneloch. Pri oprave bolo postačujúce vyčistiť len strednú odvodňovaciu stoku.

Súčasný technický stav tunela Strečno I je spomedzi strečnianskych tunelov najlepší. Tak ako predchádzajúce tunely nevyhovuje priechodnému prierezu 1-SME, ale problémy so zatekaním sú tu minimálne. V tunelovej rúre presakuje voda len na malých plochách s menšou intenzitou a taktiež ostenie javí minimálne známky degradácie spôsobenej vodou. Problémom však naďalej zostáva nedodržanie osovej vzdialenosti koľají, čo je v súčasnosti zrejme najzávažnejší nedostatok tohto tunela.

## 6. ZÁVER

Súčasný technický stav strečnianskych tunelov si vyžaduje ďalšie sanačné, resp. rekonštrukčné práce. Tie by sa mali zamerať predovšetkým na zväčšenie svetlých tunelových prierezov a na zamedzenie priesakov vody do tunelových rúr. Sanačným prácom by mala predchádzať kvalitná diagnostika jestvujúceho ostenia a horninového prostredia. Použitie tunelovej dokumentácie, ako východiskového materiálu pre návrh projektu rekonštrukčných prác nie je postačujúce. Aj napriek zvýšeným počiatočným finančným nákladom, poznanie skutočného stavu konštrukcie a charakteru horninového masívu už v predrealizačnej fáze projektu prispieva k zníženiu nákladov na údržbu a opravy počas prevádzky. Snaha minimalizovať subjektívny pohľad pri vykonávaní dohľadacej činnosti na tunelových objektoch vedie k používaniu technológií založených na využívaní digitálnej výpočtovej techniky a skenovaní vnútorného líca ostenia tunelu, čo sa pri správe našich tunelov zatiaľ neuplatňuje. V porovnaní s klasickými prehliadkami dochádza k zvýšeniu kvality prehliadok a zrýchleniu diagnostiky konštrukcie tunela. Technológia digitálneho spracovania výsledkov umožňuje využitie výsledkov v CAD systémoch, čo výrazne urýchľuje a skvalitňuje spracovanie projektu údržby. Vzhľadom na to, že ŽSR plánujú po roku 2006 modernizáciu V. koridoru Bratislava - Žilina - Čierna nad Tisou v úseku Púchov - Košice, vlaky by tu mali prechádzať rýchlosťou 140 km/hod. a taktiež od februára 2001 je v platnosti priechodný prierez C (obrys vozidla UIC - GC), bude potrebné pristúpiť k rozsiahlejšej a účinnejšej rekonštrukcii daných tunelov. Rekonštrukci by malo predchádzať skvalitnenie dohľadacej činnosti na tuneloch (snaha o objektivizáciu prehliadok) a spracovanie vhodnej diagnostiky daných objektov na základe moderných technológií.

## LITERATÚRA:

- [1] Kukučik R., Kukučik P.: Železničné a cestné tunely 1. vydanie, ŽSR Bratislava 2002, ISBN 80-968864-0-1
- [2] Technická dokumentácia "Oprava tunela Strečno III" GEOMONTA - HARMANEC spol. s.r.o. 1997
- [3] Kožuch, M.: Tunely na koľajových tratiach na Slovensku, 7. 11. 2003 <http://rail.sk/skhist/tunely.htm>

tion was necessary because the embankment for the double-rail line could not be built within the narrow space of an old terrace along the Váh River. The tunnel alignment is curved (R 452 radius). The net cross section of the tunnel is 9.0/6.6m. Most tunnel rings were designed as pressure-resisting structures with respect to the rock environment manifesting high pressures. The maximum cover of this 318.0m-long tunnel amounts to 34m. The cover consists of compact granite. The tunnel is lined in Silesian granite. Short sections at portals were built in open cuts and backfilled. Water-retaining concrete was used for the tunnel structure. Portal sections are provided with triple asphalt coat and two inserts of Hessian cloth. This is the condition that the tunnel was completed in and brought into service.

Nor did this tunnel escape damage during the World War II. First time it was damaged by partisans with the aim of preventing German troops from advancing. The second damage was caused by the retreating German army. The tunnel was backfilled partially, and the portal structures were torn down. The tunnel reconstruction started immediately in May 1945, and commissioning took place as early as 1946.

As a result of excessive loading on one of the pre-portal wings by earth during the reconstruction work on the arterial road No.18/E50 leading over the tunnel, in close proximity to the tunnel structure, a crack started to develop in this area. The spreading of the crack stopped after expedient removal of the earth.

Another significant reconstruction also took place in 2001. An uninterrupted 10-day track-possession period started on 24 July 2001, allowing a major repair of the trackwork and ballast in the tunnel. Also insufficient distance of the contact line from rails caused problems in this tunnel. Trains passed through the tunnel in both directions with trolleys pulled down. The space for passing trains was restrained; trains carrying loads exceeding allowable dimensions had to use the running track No.2 only. The issue of the tunnel drainage is not so acute as in the abovementioned tunnels. It was sufficient to clear the central drainage duct during the repair.

Current technical condition of the Strečno I tunnel is the best of all the Strečno tunnels. Similarly to the tunnels mentioned above, it does not meet requirements for the 1-SME clearance profile, but there are minimum leakage problems there. The tunnel tube exhibits small areas with leakage, the intensity of the leaks is lower, and also the lining shows minimum signs of deterioration due to water. One problem has remained, i.e. the distance between the lines inconsistent with the standard. This is the most serious defect of this tunnel.

## 6. CONCLUSION

Current technical condition of the given tunnels requires other rehabilitation or reconstruction actions. They should be focused on enlargement of the net cross sections of the tunnels, and preventing water from seeping into the tunnel tubes. The rehabilitation operations should be preceded by good quality diagnostics of the existing lining and rock environment. It is not sufficient for the design of the reconstruction to use the existing tunnel documents as a source material. Despite increased initial expenses, knowledge of the actual condition of the structure and character of the rock mass as early as the pre-realisation phase of the project contributes to reduction in maintenance and repair costs during the operation phase. The effort to minimise subjective viewing of execution of surveillance over tunnel structures leads to application of techniques based on exploitation of digital computer technology and scanning of the internal surface of the tunnel lining. This approach does not exist in our tunnel administration procedures yet. Compared to conventional methods of tunnel inspections, the quality of inspections increases, and the tunnel structure diagnostics becomes quicker. The digital technology for processing results allows utilisation of the results in CAD systems, which accelerates work on the maintenance design and increases its quality. With respect to the fact that Slovakian Railways is planning modernisation of the "5th corridor Bratislava - Žilina - Čierna nad Tisou" in the Púchov - Košice section (train speed should achieve 140 km/hour along this section), and the clearance profile C (vehicle contour UIC - GC) will be put into effect in February 2001, a wider-scale and more efficient reconstruction of the given tunnels will be necessary. This reconstruction should not be performed without previous improvement of surveillance of the tunnels (in an effort to increase the objectivity of inspections) and development of suitable diagnostics of the given structures based on state-of-the-art techniques.

## REFERENCES:

- [1] Kukučik R., Kukučik P.: Železničné a cestné tunely 1st edition, ŽSR Bratislava 2002, ISBN 80-968864-0-1
- [2] Technical documents "Repair of the Strečno II tunnel" GEOMONTA - HARMANEC spol. s.r.o. 1997
- [3] Kožuch, M.: Tunely na koľajových tratiach na Slovensku, 7. 11. 2003 <http://rail.sk/skhist/tunely.htm>

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

## WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

PROPOJENÍ ŽELEZNIČNÍ  
A MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY V LINCI

Nedaleko od našich jižních hranic, v rakouském Linci, se dokončuje zajímavá tunelová stavba, která umožní přímou návaznost železniční dálkové i příměstské dopravy na městskou hromadnou dopravu. Současně stavba pomůže zvýšit plynulost městské dopravy jak hromadné, tak automobilové. Náplní stavby je přeložení části páteřní tramvajové trati v centru města v ulici Wiener Strasse do podzemí a její odklon směrem k železniční stanici Linec - hlavní nádraží. Stavba zahrnuje vybudování tří nových podzemních tramvajových stanic, které se realizují hloubeným způsobem (u jedné z nich se využila metoda "želva"). Přímý přestup cestující veřejnosti z železnice na tramvaj zajistí stanice Hlavní nádraží. Celková délka nově budované trati je asi 1,9 km, z toho více než 1,25 km je tunelováno metodou NRTM. V převážné délce se jedná o výstavbu dvoukolejného tunelu, který však v nejméně problematické oblasti pod kolejištěm železničního nádraží přechází do tříkolejného tunelu v délce 120 m. Současně se přímo pod kolejištěm razi jednokolejná tramvajová smyčka včetně rozrážek pro budoucí napojení prodloužení linky č. 3. Další ražená tramvajová smyčka je u severního konce hloubené stanice Hlavní nádraží. Koncepce dopravního řešení vznikala postupně od r. 1976, ale práce na stavebními byly zahájeny až v červenci 2001 a vlastní ražba probíhala od února 2002 do července 2003. Dokončení sekundárního ostění se plánovalo na konec roku 2003 a uvedení do provozu má být v závěru roku 2004.

## Obtížnost stavby je dána následujícími skutečnostmi:

- nepříznivé geotechnické podmínky;
- nízké nadloží - minimum 1,50 m (!) až 5 m;
- podchod kolejiště železniční stanice s nepříznivým vlivem dynamických účinků projíždějících vlaků (16 kolejí a 5 nástupišť);
- podchod existujících nádražních budov nebo ražba v blízkosti základů zděných i vícepatrových budov;
- variabilita ražených profilů a rozrážky pro tramvajové smyčky i pro budoucí prodloužení linky č. 3;
- malé poloměry ražených tunelů (standardní poloměr v běžné trati byl sice 120 m, ale ve speciálních případech mohl klesnout až na 67 m a v tramvajových smyčkách byl dokonce poloměr pouze 19 m);
- nebezpečí nálezu nevybuchlých leteckých bomb z druhé světové války.

Pokud nebylo možno provést průzkum z povrchu území, prováděly se při ražbě průzkumné vrty z čelby. Ty se vystrojily hliníkovými výpažnicemi, ve kterých se prováděla měření magnetického pole.

## GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Z průzkumu vyplynulo, že prostředí stavby je tvořeno širokou škálou různých druhů zemín, které lze hrubě rozdělit do následujících typů - navážky, spraše a sprašové hlíny, čtvrtohorní říční sedimenty Dunaje a Traunu - písků a štěrky, a třetihorní jílovce, postižené hlubokým zvětráním z poslední doby ledové. Především vlastnosti písků a štěrku byly velmi důležité, protože se vyskytovaly v převážné části profilu, ale především v klenbě a nad klenbou tunelu. Tato vrstva sedimentů byla velmi nestejnorodá co do vlastností písků, štěrkopísků a štěrku, a to i z hlediska střídání, tloušťky a uložení vrstev.

Podzemní voda byla systematicky přítomná 6 až 9 metrů nad třetihorními horninami a dno tunelu bylo většinou 4 m pod její hladinou. Úroveň hladiny byla před a při ražbě snižována pomocí systému odvodňovacích studní instalovaných z povrchu území. Přesto bylo nutné při ražbě provádět drenážní systém pro podchycení i značných přítoků, protože odvodnění studněmi nemohlo být dostatečně účinné vzhledem k velké propustnosti hrubých štěrku a k nestejné úrovni nepropustných třetihorních hornin. Pod dnem tunelu se budovala šterková drenáž, která v konečné fázi má umožnit proudění podzemní vody kolem hotového díla.

Snižování hladiny podzemní vody bylo zastaveno po dokončení primárního ostění. To samozřejmě nebylo vodonepropustné, takže případné průsaky byly organizovaně sváděny a odčerpávány, dokud se nedokončilo sekundární ostění.

## POSTUP RAŽEB

Z předchozího je zřejmé, že technologický postup ražeb musel zajistit minimální sedání povrchu a jejich bezpečný průběh. Pozornost byla věnována především okamžitě instalaci primárního ostění, případně opatřením prováděným před čelbou, a urychlenému uzavírání primárního ostění protiklenbou. Na

INTERCONNECTION OF RAILWAY  
AND URBAN MASS TRANSIT SYSTEMS IN LINZ

Nearby our southern border, in Austrian city of Linz, there is an interesting tunnel construction being completed, which will make direct connection of both long-distance and commuter railway traffic to the urban mass transit system possible. This project will help to improve fluency of urban traffic, both in terms of mass and vehicular transport. The Works consists of relocating a part of a main tramline in the city centre (Wiener Strasse street) underground, and diverting it in a direction toward the Linec railway station, the Main Station.

The project comprises construction of three new cut-and-cover tram stations (the "Turtle method" was utilised for one of them). Direct transfer of passengers from the railway to the tramline will be possible at the railway station, the Main Station. Total length of the newly built line amounts roughly to 1.9 km, out of which length over 1.25 km will be excavated using the NATM. A double-rail tunnel type prevails, but a length of 120 m of a triple-rail tunnel will have to be constructed within the most difficult section passing under the station yard. A mined single-track tramline loop is being built simultaneously directly under the station yard, including short side tunnel stubs for future connections of the line No.3 extension. Another tramline loop is at the northern end of the cut-and-cover station, the Main Station. The conception of the traffic solution was being developed gradually since 1976, with the work on the site beginning as late as July 2001, and the excavation taking place from February 2002 to July 2003. Completion of secondary lining was scheduled for the end-2003, and commissioning for the end of 2004.

The Works complexity was associated with the following facts:

- unfavourable geotechnical conditions;
- shallow overburden - 1.50 m (a minimum) to 5 m;
- passing under the station yard generating unfavourable dynamic effects due to running trains (16 tracks and 5 platforms);
- passing under existing station buildings, or excavation in a vicinity to foundation of multi-storey brick buildings;
- variability of mined profiles and the side tunnel stub for the tramline loops and the future line No. 3 extension;
- tight radii of the mined tunnels (the standard radius of 120 m at a common line could be reduced up to 67 m in special cases, and at tramline loops it could drop to mere 19 m);
- a threat of discovering unexploded bombs from the World War II. Wherever the survey could not be conducted from the ground level, exploratory drilling from the tunnel face was carried out during the excavation. The drillholes were cased with aluminium pipes, and magnetic field was measured in the pipes.

## GEOTECHNICAL CONDITIONS

The surveys confirmed that the geology consists of a wide range of soil types, which can be roughly divided into the following groups: made ground, primary and secondary loess, Quaternary stream sediments of the Danube and Traun rivers (sands and gravels), and Tertiary claystone affected by deep weathering during the last Ice Age. Properties of the sands and gravel above all were of high importance as they were found within prevailing part of the cross section, mainly at the tunnel crown and above the crown. This series of strata of sediments was highly heterogeneous in terms of the properties of the sands, gravel-sands and gravels, even regarding alteration, thickness and dipping of the layers.

Groundwater was present systematically at a level of 6 to 9 meters above the Quaternary rock, and the tunnel floor was mostly 4 m under the water table. The water table was lowered before and in the course of excavation by a system of absorbing wells sunk from the ground surface. Despite this action, a drainage system had to be maintained during the excavation to capture the even significant inflows. The reason was that the absorbing wells could not be sufficiently efficient due to the high permeability of coarse gravels, and uneven level of the impermeable Tertiary rock. Gravel drainage was built under the tunnel invert. This drainage is to allow groundwater to flow along the finished structure in the final phase.

The lowering of the water table was suspended after the primary lining completion. Of course the lining was not waterproof. Contingent leaks were diverted in an organised manner and pumped away until the secondary lining completion.

## EXCAVATION PROCEDURE

It is obvious from the above information that the excavation technique had to secure minimum surface settlement and safe progressing of the work. Attention was focused primarily on immediate erection of the primary liner and, wherever required, on measures carried out ahead of the face, and expeditious closing of

obrázku 1 je schematicky znázorněn postup ražby včetně postupného otvírání čelby kaloty a jádra u dvojkolejného tunelu.

U tříkolejného tunelu se nejprve razil tunel pro střední železobetonový pilíř definitivního ostění. Ten se provedl po dokončení ražby a sestával ze základového pásu, nosné stěny a mohutného horního průvlaku. Pak se postupně razily boční tunely, jejichž primární ostění se navázalo na základový pás a průvlak středního pilíře (viz obr. 2).

#### Běžný postup zahrnoval:

- záběr 1 m dlouhý;
- jehlování v kalotě a pokud bylo potřebné, tak i v opěří;
- kompletně uzavřený příhradový oblouk;
- stříkaný beton tl. 200 až 300 mm se dvěma sítěmi;
- otvírání čelby po částech s okamžitým prováděním zajišťovacího nástřiku;
- kotvení čelby;
- stupňovitě uspořádanou ražbu kaloty, jádra a dna s uzavřením prstence primárního ostění do 5 m od čelby.

Rozpořádání zajišťoval tunelový bagr. Nedílnou součástí stavby byl rozsáhlý monitoring v podzemí i na povrchu (hodnoty konvergencí s maximem 15 mm a sedání povrchu nad osou tunelu s maximem 28 mm byly v podstatě v souladu s vypočtenými hodnotami).

Pro zvláště nestejnorodé podmínky byla připravena další opatření:

- důkladnější zajištění čelby (více kotvě, vyztužený stříkaný beton tl. 100 mm);
- rozšíření paty ostění kaloty;
- jehlování v opěří;
- injektované beraněné jehly;
- IBO kotvy;
- injektáž horniny;
- deštník z tryskové injektáže v prostoru prorážky pro jižní tramvajovou smyčku.

#### INJEKTÁŽE

Během ražeb se narazilo na neočekávaně velký výskyt vrstev říčního štěrku, který byl zcela nesoudržný a prakticky "vytékal" do výrubu. Vrstvičky soudržného jílovitého písku, které se ve štěrku vyskytovaly, byly slabé, takže stabilitu čelby nezajistily. Ukázalo se, že nestabilní čelbu nelze zvládnout, i když se rozdělí až na 20 dílčích výrubů. Přistoupilo se tedy k systematické injektáži, která byla prováděna z čelby vždy při postupu o 3 až 4 m pomocí 6 m dlouhých injekčních trubek. Po obvodu byly trubky osazeny mírně šikmo směrem ven, jinak byly osazeny vodorovně.

Injektoválo se velmi nízkým tlakem směsí tvořenou kamennou moučkou a cementem v poměru 3,2:1 až 1:1. Kde to prostor nad tunelem dovolil, injektoválo se posléze i z povrchu.

Návrh injektáží byl obtížný vzhledem k velké variabilitě vlastností sedimentů

#### Legenda / Legend

- 1 Povrch vozovky  
Roadway surface
- 2 Současné tramvajové těleso  
Existing tramline
- 3 Nadloží 1,5 - 4,1 m  
Cover 1,5 - 4,1 m
- 4 Jehlování dl. 2,5 - 3,5 m  
Forepoling with steel sheets L = 2,5 - 3,5 m
- 5 Kalota  
Top heading
- 6 Jádro  
Bench
- 7 Dno  
Invert
- 8 Čerpací studna  
Well
- 9 Původní HPV  
Original GWL
- 10 Snížená HPV  
Lowered GWL
- 11 IBO kotvy  
IBO-anchors
- 12 Primární ostění ze stříkaného betonu tl. 250 mm včetně 2 sítí a příhradového oblouku  
Shotcrete lining 250 mm, 2 layers wire mesh and lattice girder
- 13 Štěr, štěrkopísek  
Gravel (sandy, silty)
- 14 Jílovec  
Claystone
- 15 Dočasný zásyp  
Temporary backfill

the primary liner by invert. Fig. 1 shows the excavation procedure including successive excavation of the top heading and core at the double-rail tunnel.

The three-rail tunnel excavation started by the drift for the central reinforced concrete pillar (a component of the final liner). The pillar was cast after the excavation completion. It consisted of a strip foundation, structural wall and a robust upper beam. Side-wall drifts were excavated successively, with their primary lining connecting to the strip foundation and the beam on the top of the central pillar (see Fig. 2).

The common procedure comprised the following work items and rules:

- 1m-long advance;
- forepoling within the top heading and, if needed, in the side-wall area;
- completely closed lattice girder;
- 200 to 300 mm thick shotcrete with two layers of mesh
- sequential excavation of the face with immediate application of shotcrete support;
- face anchoring;
- separation of the top heading, core and invert faces, with the primary lining ring closing not further than 5 m from the face.

The excavation was carried out using a tunnel excavator. An inseparable part of the construction process was monitoring, performed both in the underground and at the surface (maximum convergence values of 15 mm, and maximum surface settlement above the tunnel centre line of 28 mm basically corresponded with the calculated values).

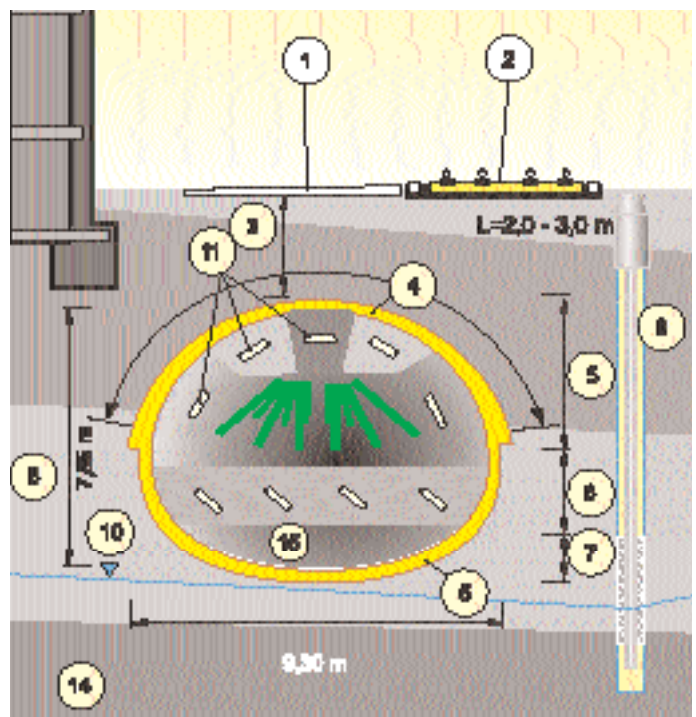
Further measures were prepared for extremely heterogeneous conditions:

- more thorough support of the face (more anchors, reinforced shotcrete 100 mm in thickness)
- widening of the top heading liner's leg;
- forepoling in the side-wall drift;
- grouted driven needles;
- IBO anchors;
- rock grouting;
- jet grouting umbrella within the area of the breakthrough for the southern tramline loop.

#### GROUTING

An unexpected occurrence of totally inhomogeneous river gravel, practically flowing into the excavation was encountered during the mining work. The layers of homogeneous clayey sand found in the gravel were thin; therefore they could not ensure stability of the face. It turned out that the unstable face couldn't be coped with even if it was divided into up to 20 partial faces. For that reason systematic grouting was used, carried out from the face after every advance of 3 to 4 m, using 6m-long injection pipes. The direction of pipes installed along the perimeter was slightly at a skew, outside the excavation profile, while the other pipes were horizontal.

The grouting was carried out applying very low pressure, using a mixture consisting of stone powder and cement in the ratio of 3.2:1 to 1:1. Wherever it was possible with respect to the surface conditions above the tunnel, subsequent grouting was carried out from the ground level.



Obr. 1 Dvojkolejný tunel - postup ražby a primární ostění  
Fig. 1 Double-rail tunnel - excavation sequence

a vzhledem k jejich nehomogenitě (výskyt čoček zemin s odlišnými vlastnostmi od okolní zeminy, proměnlivost tloušťky vrstev). Touto problematikou a klasifikací hornin z hlediska injektovatelnosti se zabýval jeden z referátů 52. Geomechanického kolokvia v Salzburgu v říjnu 2003.

### DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Definitivní monolitické železobetonové ostění bylo provedeno jako vodonepropustný prvek, takže nebyla instalována žádná izolace. Aby se zabránilo nadměrnému vysychání betonu na rubové straně, byla na primární ostění upevněna tenká, 0,2 mm silná folie. Bloky ostění byly dlouhé 10 m a 5 m u tramvajových smyček (zde z důvodu malého poloměru tunelu). Ostění bylo navrženo v souladu se směrnici pro definitivní betonová ostění, kterou vydala rakouská společnost pro beton a stavební technologii. Pouze směrnici předepsané minimální vyztužení bylo zvýšeno, aby se zabránilo vzniku smršťovacích trhlin. Spáry mezi bloky byly těsněny vnitřními těsnícími pásy. Pracovní spáry mezi klenbou a dnem byly zajištěny proti průsakům rozpínacími profily včetně osazení injekčních hadiček pro dodatečnou injektáž.

### ZÁVĚR

Příprava stavby si vyžádala mimořádné úsilí. Zúčastnila se jí řada expertů, bylo provedeno mnoho zkoušek a srovnávacích výpočtů. Důležitá byla důkladná riziková analýza, kterou vypracovalo zhotovitelské sdružení, a úzká spolupráce všech partnerů při rozhodovacím procesu.

Stavba má být dokončena v letošním roce v souladu s jejím harmonogramem.

Podle zahraničních pramenů zpracoval Ing. Miloslav Novotný

It was a difficult task to design the grouting system because of the high variability of the properties of sediments, and due to their inhomogeneity (occurrence of lenses of soils with properties differing from those of the surrounding soil, variable thickness of the layers). This issue and rock classification in terms of groutability were the topic of one of papers delivered at the 52nd Geomechanical Colloquium in Salzburg in October 2003.

### FINAL LINING

In situ reinforced concrete final lining was carried out as a waterproof element, therefore no waterproofing layer was installed. To prevent excessive drying up of concrete on the reverse side, a thin (0.2 mm thick) membrane was applied to the primary lining. The lining blocks were 10 m long (5 m for the tramline loops, where the tunnel radius was too tight). The lining was designed in accordance with a specification for concrete final liners, issued by the Austrian Association for Concrete and Construction Equipment. The minimum reinforcement ratio required by this specification was increased to prevent development of shrinkage cracks.

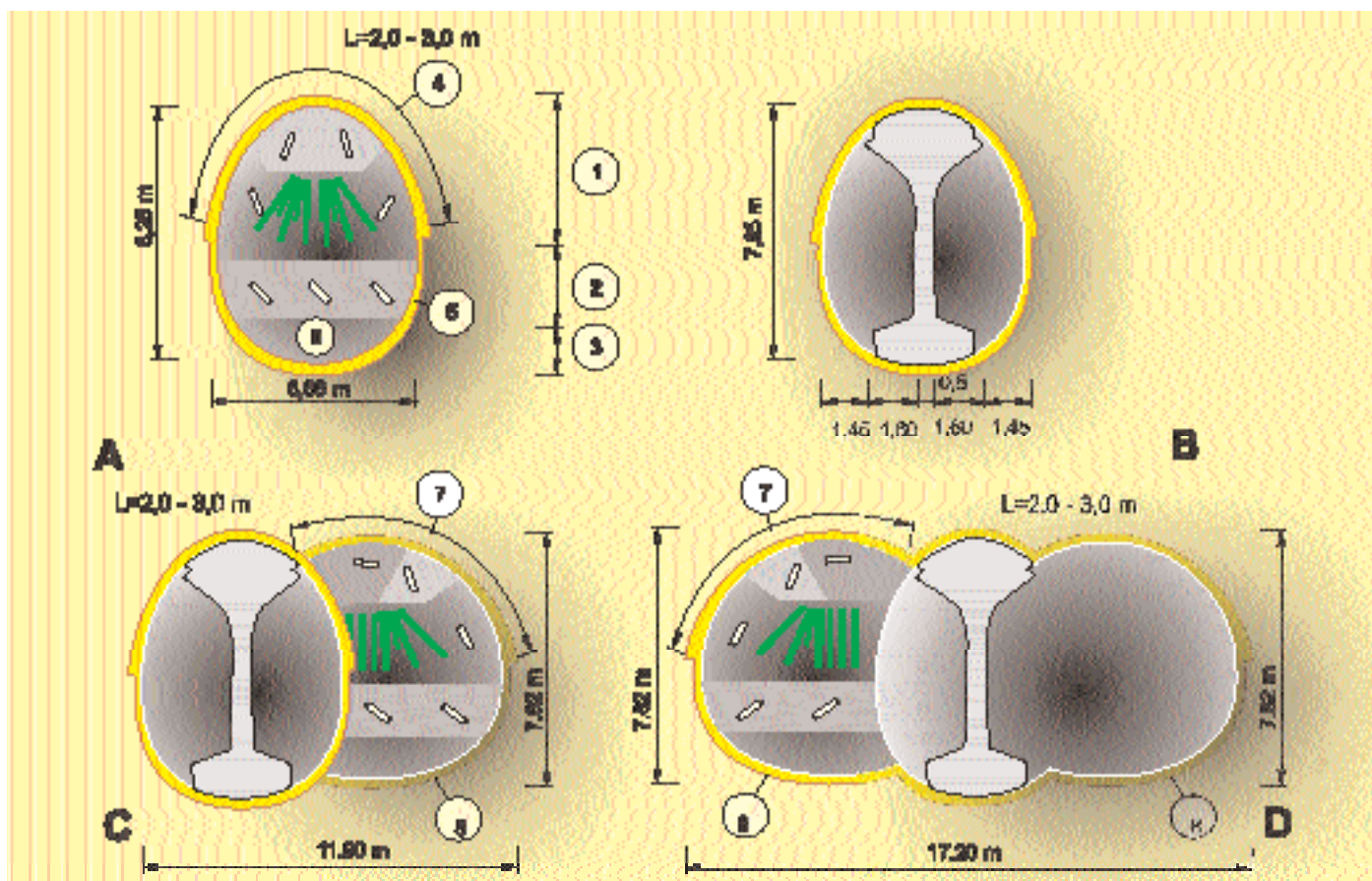
The joints between the blocks were sealed using internal waterstops. Day joints between the vault and invert were secured against seepage by hydrophilic gaskets, supplemented by hoses allowing additional grouting.

### CONCLUSION

The construction planning process required an extraordinary endeavour. Many experts participated, many tests and comparative calculations were conducted. The risk analysis elaborated by the contractor (joint venture members) was of a special importance, as well as close co-operation from all parties to the decision-making process.

The construction is expected to be completed this year, in compliance with the schedule.

According to foreign sources elaborated by Ing. Miloslav Novotný



Obr. 2 Tříkolejný tunel pod kolejištěm nádraží - postup ražeb  
Fig. 2 Triple-rail tunnel under the station yard - excavation sequence

- A Fáze 1: Ražba tunelu pro střední pilíř  
Stage 1: Excavation of the central pillar's tunnel  
B Fáze 2: Betonáž středního pilíře  
Stage 2: Cast in situ reinforced concrete pillar  
C Fáze 3: Ražba rozšíření tunelu na pravé straně  
Stage 3: Excavation of the right enlargement  
D Fáze 4: Ražba rozšíření tunelu na levé straně  
Stage 4: Excavation of the left enlargement

- 1 Kalota / Top heading  
2 Jádro / Bench  
3 Dno / Invert  
4 Jehlování dl. 2,0 - 3,0 m / Forepoling with steel sheets L = 2,0 - 3,0 m  
5 Primární ostění ze stříkaného betonu tl. 200 mm včetně 2 sítí a příhradového oblouku  
Shotcrete lining 200 mm, 2 layers wire mesh and lattice girder  
6 Dočasný zásyp / Temporary backfill  
7 Jehlování dl. 2,5 - 3,5 m / Forepoling with steel sheets L = 2,5 - 3,5 m  
8 Primární ostění ze stříkaného betonu tl. 250 mm včetně 2 sítí a příhradového oblouku  
Shotcrete lining 250 mm, 2 layers wire mesh and lattice girder

## AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICE

CURRENT NEWS OF UNDERGROUND CONSTRUCTION  
IN THE CZECH AND THE SLOVAKIAN REPUBLICS

## ČESKÁ REPUBLIKA

## TUNEL PANENSKÁ NA DÁLNICI D8

V Krušných horách na stavbě dálnice D8 úspěšně pokračuje ražba tunelů Panenská.

K 23. březnu 2004 bylo v západním tunelu vyraženo 862 m kaloty a 330 m jádra, ve východním tunelu postoupila kalota na vzdálenost 513 m od portálu a jádra bylo vyraženo 89 m. Na měsíc duben je plánováno zahájení prací na definitivním ostění v západním tunelu. Jeho budování začne betonáží patek.

Tunely Panenská jsou součástí stavby 0807 - II, část G dálnice D8. Proto je vhodné informovat, že 2. března 2004 bylo slavnostně otevřeno informační centrum a výstava o dokončování dálnice D8 v zámku v Trmicích. Středisko a v něm umístěná výstava umožní veřejnosti získat informace o dostavbě dálnice od Lovosic až na státní hranici s Německem. Mimo informační panely uvidí návštěvníci i vizualizaci jednotlivých částí trasy. Pro dokončení dálnice je nutné postavit celkem 40 km trasy, která je rozdělena do dvou staveb. První je stavba 0805 Lovosice - Řehlovice a druhá stavba 0807 Trmice - státní hranice je již rozestavěná a její délka je 23,4 km. Informační středisko bylo otevřeno za účasti náměstka ministra dopravy Ing. Jiřího Kubínka, generálního ředitele investora stavby Ředitelství silnic a dálnic Ing. Petra Laušmana, hejtmána Ústeckého kraje Ing. Jiřího Šulce a dalších hostů. Pro veřejnost bude prozatím otevřeno každou středu od 13 hod. do 16 hod., poslední středu v měsíci se v něm budou konat tematické přednášky. Na obrázku 1 je pohled do jedné z místností informačního centra.

SILNIČNÍ OKRUH KOLEM PRAHY,  
STAVBA 514 - PRŮZKUMNÁ ŠTOLA TUNELU

Po složité přípravě byla 7. ledna 2004 zahájena ražba průzkumné štoly pro tunele na silničním okruhu kolem Prahy u Radotína. Průzkumná štola poskytne podrobnější znalost horninového masivu v místě dvou jednosměrných tunelů v úseku stavby 514 Lahovice - Slivenec, který je dlouhý 6,03 km. Štola je dlouhá 1313 m, výška výrubu je 5,8 m a plocha výrubu činí 24,5 m<sup>2</sup>. Štola je řešena jako stropní a je umístěna v profilu budoucího třípruhového stoupajícího tunelu. Razit se začalo dovrchně od radotínského portálu. K 22. 3. 2004 bylo vyraženo 140 m a zahájila se ražba 30 m kaloty na plný profil (stále jako součást geologického průzkumu). Ražba od lochkovského portálu začala 20. 3. 2004.

V pondělí 15. března proběhla na stavbě slavnostní událost. Po desáté hodině se uskutečnilo posvěcení a umístění sošky sv. Barbory - patronky horníků a tunelářů, její posvěcení provedl radotínský farář pater Evžen Hlaváček.

Ceremoniálu se zúčastnili ministr dopravy ČR Milan Šimonovský, primátor hl. m. Prahy Pavel Bém, ředitel SFDI Pavel Švagr, generální ředitel Ředitelství silnic a dálnic ČR Petr Laušman, na fotografiích s nimi jsou: vlevo ředitel divize 05 Metrostav a. s. Václav Soukup, dále farář Hlaváček a tiskový mluvčí Metrostavu František Polák (viz obr. 2). Účast vzácných hostů dokumentuje význam stavby pro řešení dopravy v hlavním městě České republiky.

## TUNEL VALÍK NA DÁLNIČNÍM OBCHVATU MĚSTA PLZNĚ

Také dlouho očekávané zahájení ražeb tunelu Valík na posledním chybějícím úseku dálnice D5 u Plzně již proběhlo. Slavnostní otevření informačního centra a posvěcení a instalace sošky sv. Barbory proběhne 7. dubna 2004 po uzávěře tohoto čísla Tunelu. Informaci o stavbě přineseme v příštím čísle.

Ing. Miloslav Novotný



Obr. 1 Pohled do jedné z místností informačního centra dostavby dálnice D8  
Fig. 1 Interior of one of the rooms of the information centre of the D8 motorway completion project

## CZECH REPUBLIC

## THE PANENSKÁ TUNNEL ON THE D8 MOTORWAY

The excavation work on the Panenská tunnel in the Krušné Mountains on the D8 motorway (under construction) continues successfully. As of 23 March 2004, 862 m of the top heading and 330 m of the bench excavation was completed in the western tube, while in the eastern tube, the top heading face was found at a distance of 513 m from the portal, and 89 m of the bench was excavated. Commencement of the work on the final lining in the western tube is scheduled for April. Casting of concrete legs will be the first step of this operation.

The Panenská tunnels are part of the construction lot 0807 - II, section G of the D8 motorway. This is why it is good to present the information that an information centre and an exhibition on the D8 motorway completion was opened in the Trmice castle on 2 March 2004. The centre, and the exposition installed in the castle, will allow the general public to obtain information on the construction of the still missing motorway section from Lovosice to the state border with Germany. Apart from information panels, visitors will be able to see visualisation of individual parts of the route. About 40 km of the route remains to be built to have the motorway completed. The route is divided into two construction lots. The first of them is the 0805 Lovosice - Řehlovice lot, the other one is the 0807 Trmice - state border lot (24 km long, already under construction).

The ceremony of the information centre opening was attended by Ing. Jiří Kubínek, deputy minister of transport, Ing. Petr Laušman, C.E.O. of Ředitelství silnic a dálnic ČR (the Roads and Motorways Directorate of the CR, the project owner), Ing. Jiří Šulc, governor of the Ústí Region, and other guests. The centre will be open for the general public every Tuesday from 1.00 p.m. to 4.00 p.m., with subject lectures read on the last Tuesday of each month. The interior of one of the information centre's rooms is shown in Fig. 1.

THE RING ROAD AROUND PRAGUE, CONSTRUCTION  
LOT 514 - THE TUNNEL EXPLORATION GALLERY

The excavation of the exploration gallery for tunnels on the ring road around Prague nearby Radotín started on 7 January 2004, preceded by complex preparation. The exploration gallery will provide more detailed knowledge of the rock mass at the location of two uni-directional tunnel tubes located within the 514 Lahovice - Slivenec construction lot section (6.03 km long). The gallery is 1,313 m long, the excavation is 5.8 m high, and the excavated cross section area amounts to 24.5 m<sup>2</sup>. The gallery position is under the roof of the three-lane rising tunnel tube to be driven subsequently. The uphill driving started from the Radotín portal. As of 22 March 2004, 140 m of the excavation was completed, and the full-profile top heading excavation (still as part of the geological survey) started, advancing 30 m. The excavation from the Lochkov portal started on 20 March 2004. A special ceremony took place on the site on Monday the 15th March. After 10.00 a.m., a statuette of St. Barbara, a patron of miners and tunnellers, was consecrated by Radotín parish priest, Father Evžen Hlaváček, and installed at the portal. The ceremony took place in the presence of Milan Šimonovský, minister of transport of the CR, Pavel Bém, Lord Mayor of the Prague Capital, Pavel Švagr, SFDI director, Petr Laušman, C.E.O. of Ředitelství silnic a dálnic ČR. Together with them, in the picture, there are: left - Václav Soukup, director of Division 05 of Metrostav a.s., followed by Father Hlaváček and František Polák, press agent of Metrostav a.s. (see Fig. 2). The presence of the special guests documents the significance of the construction for the solution of traffic in the capital of the Czech Republic.

THE VALÍK TUNNEL ON THE MOTORWAY BYPASS  
OF THE CITY OF PILSEN

Also this long-awaited commencement of excavation work on the Valík tunnel, found on the last missing section of the D5 motorway nearby Pilsen, has already taken place. The inauguration of the information centre, and consecration and installation of a statuette of St. Barbara will take place on 7 April 2004, after this TUNEL copy deadline. We are going to present the information on this construction in the next issue.



Obr. 2 Oficiální hosté posvěcení sošky sv. Barbory na průzkumné štole st. 514  
Fig. 2 Official guests of the St. Barbara statuette consecration ceremony on the exploration gallery at the 514 lot



## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ

## NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES


**ÚSPĚŠNÉ SYMPOZIUM VYTYČILO CESTU KE ZLEPŠENÍ BEZPEČNOSTI A SPOLEHLIVOSTI TUNELŮ**

V Praze se konalo ve dnech 4. - 6. února 2004 1. Mezinárodní sympozium "Bezpečnost a spolehlivost tunelů - zaváděná evropská opatření", které přilákalo na 250 účastníků z více než 30 zemí. Účastníci se zájmem sledovali dvou denní aktivní diskusi, která přispěla k rozšíření posledních výzkumů a k dalšímu rozvoji na poli bezpečnosti tunelů.

Sympozium bylo uspořádáno společnou iniciativou tří velkých evropských projektů známých pod zkratkami DARTS, FIT a UPTUN, probíhajících pod patronátem Evropské komise (DG Research, GROWTH Programme), které se týkají tří způsobů dopravy - silniční, železniční a dopravy metrem. Všechny aspekty spojené s projektováním, výstavbou, údržbou a obnovou tunelů a tunelových objektů, zahrnující i chování osob a rizika, byly v přednesených příspěvcích respektovány. Sympozium nabídlo výsledky posledních výzkumů a přehled o současném stavu. Příspěvky výzkumných, konzultačních, výrobních i státních firem a institucí byly vysoce kvalitní a obohatily tři panelové diskuse sympozia. Zvláštní poster session dala přehled o celoevropských výzkumných projektech z oblasti bezpečnosti tunelů a znovu dokumentovala význam a rozsah výzkumných aktivit vyvíjených v současnosti.

Sympozium vyzvalo tunelářský svět, aby využilo jeho výsledky a závěry v praxi ve výstavbě i v provozu, v pravidlech i projekci k dalšímu zvyšování bezpečnosti a působnosti provozních opatření a tunelářských aktivit. Trvalé investice do výzkumu a rozvoje přispívají významně k prosazování a řízení evropských opatření v oblasti tunelů a jejich provozu založených na odborných znalostech.

Nové projekty byly zahájeny a výzkum pokračuje. Příští setkání - druhé sympozium o bezpečnosti a spolehlivosti tunelů na jaře 2006 - nabízí novou příležitost se setkat, vyměnit si aktuální zkušenosti a získat oprávnění k dalším tunelářským aktivitám v Evropě.

Prezentace diapositivů za sympozia je uvedena na website FIT [www.etnfit.net](http://www.etnfit.net). Další informace jsou k dispozici u CUR Jan Mijnsbergen, Nizozemsko, a BBRI, Johan Van Dessel, Belgie.

Podle tiskového komuniqué/According to the Press Release: Ing. Karel Matzner

**KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ MOSTY A TUNELY**

V této konferenci, letos v pořadí deváté, už plně našla místo problematika tunelových staveb, ať už nově realizovaných, či připravovaných nebo rekonstruovaných.

V kongresovém sále hotelu Olšanka v Praze 3 bylo 22. ledna 2004 předneseno 22 zajímavých příspěvků, z nichž 5 se věnovalo železničním tunelům.

Výstavbu dvou nových tunelů Krasíkov 1 a Krasíkov 2 na koridoru Přerov - Česká Třebová představi pracovníci Metroprojektu (projekce) i Metrostavu a Subterra (realizace). Předmětem příspěvku byla informace o technickém řešení, rozšíření o zkušenosti z realizace. Ražba tunelů byla úspěšně dokončena v říjnu 2003 a nyní probíhá výstavba definitivního ostění. Ražba byla realizována novou rakouskou tunelovací metodou, jež se ukázala pro dané poměry skutečně optimální ve všech technologických třídách od TT 5b až po TT 3. Z technologického řešení je třeba zdůraznit navržené nové prvky ve vybavení tunelu z důvodu bezpečnosti a spolehlivosti provozu, jako jsou:

- úniková cesta tunelu Krasíkov 1 v délce asi 240 m, hloubky 12,5 m navržena podle zásad směrnic německých drah. Štola je vybavena přepouštěcí komorou s přetlakovým větráním, které zabrání případnému vnikání kouře;
- ocelová madla mezi záchrannými výklenky;
- orientační a nouzové osvětlení;
- požární suchovod z potrubí z DN 100 mm;
- nástupní a záchranné plochy dostupné pro lehká záchranná vozidla u portálu Krasíkov 2 a u únikové šachty.

Sanacím železničních tunelů v letech 2002 - 2003 se věnoval příspěvek pracovníků Českých drah. Konkrétně se jedná o tunely Broumovský a Svojišský. V obou byly hlavním důvodem sanace značné průsaky vody, a tím narušení konstrukce ostění. Sanace obsahovaly rekonstrukci či obnovení odvodňovacího systému, opravu či zpevnění ostění. Uplatnily se technologie chemických injekcí, spárování a stříkaného betonu. Zhodnocení výsledků sanačních prací jistě budou věnovány určitě příspěvky i na příští konferenci, rekonstrukční práce na Svojišském tunelu budou totiž ukončeny v letošním roce.

S velmi zajímavým příspěvkem přispěly k dobré úrovni konference i pracovníci SUDOP, a to článkem s názvem Zahloubení železniční stanice Bratislava - filiálka. Bylo prezentováno navrhované technologické řešení hloubeného tunelu navrženého ve spojitosti s výsledky matematického modelování proudění podzemní vody metodou konečných prvků. Hloubený dvoukolejný železniční tunel se zářezy dosahuje délky asi 2000 m.

**SUCCESSFUL SYMPOSIUM POINTS THE WAY FORWARD FOR IMPROVED SAFETY RELIABILITY OF TUNNELS**

Symposium "Safe Reliable Tunnels- Innovative European Achievements", held 4-6 February 2004 in Prague, attracted more than 250 participants from over 30 countries. The participants enjoyed an active two-days of discussion and dissemination of the latest research achievements and ongoing developments in the tunnel safety field.

The symposium was a joint initiative of three major European projects, known by their acronyms DARTS, FIT and UPTUN, running under the auspices of the European Commission (DG Research, GROWTH Programme) and dealt with the three transport modes (road, rail and metro). All aspects relating to designing, building, maintaining and upgrading of tunnels and tunnel structures, including human behaviour and hazards, were addressed in an integrated way.

The symposium offered latest research results and state of the art overviews with high quality presentations from research, consultancy, industry and governmental organisations. Three panel debates were enriched with the active contributions of the symposium participants. A special poster session gave an overview of all European research projects on safety and tunnels illustrating again the importance and scale of the research activities being developed at present.

The tunnelling world is challenged to incorporate the results and findings of the symposium in practical construction and operation, standards and design basis to further increase the safety and performance of tunnel operations and activities. A continuous investment in research and development contributes significantly to an advanced - and leading - knowledge - based European expertise on tunnels and tunnel operations.

New projects are launched and research is continuing. A new rendez-vous - the second symposium on Safe Reliable Tunnels in Spring 2006 - will offer a new opportunity to meet and exchange up-to-date knowledge and gain competitiveness for Europe's tunnel activity.

Slide presentations of the symposium are published on the FIT website [www.etnfit.net](http://www.etnfit.net). Information about this press release is available at CUR, Jan Mijnsbergen, Netherlands and BBRI, Johan Van Dessel, Belgium

**RAILWAY BRIDGES AND TUNNELS CONFERENCE**

The issues of tunnel structures, regardless if newly realized, under preparation or reconstructed, have fully taken up their position within the already 9th conference. Twenty-two interesting contributions were delivered in the Congress hall of the Olšanka hotel in Prague 3 on January 22, five out of which concerned railway tunnels.

Employees of the designer, Metroprojekt, and contractors, Metrostav and Subterra, introduced the construction of the two new tunnels Krasíkov 1 and Krasíkov 2 on the corridor Přerov - Česká Třebová. The contribution focused on information about the technical solution, enriched with the experience from realization. Excavation of the tunnels had been successfully completed in October 2003 and now the final lining is being constructed. The excavation was carried out using the New Austrian Tunneling Method, which had really proven ideal in the given circumstances for all technological classes from TT 5b up to TT 3. As far as the technological solution is concerned, it is necessary to highlight newly designed elements of the tunnel equipment with regards to safety and reliability of operation, such as:

- app. 250 m long and 12,5 m deep emergency exit route from the Krasíkov 1 tunnel, designed according to standards of the German railways. The gallery is equipped with an air-lock with overpressure ventilation, which prevents potential infiltration of smoke;
- steel handrails between emergency niches;
- orientation and emergency illumination;
- fire pipeline of PN 100 mm pipes;
- assembly and rescue areas accessible for light rescue vehicles at the portal of Krasíkov 2 and by the exit gallery.

Contribution of employees of České Dráhy (Czech Railways) dealt with treatment of railway tunnels in 2002-3. In particular this concerned the tunnels Broumovský and Svojišský. In both cases, substantial leaks of water and thus faulted framework of the lining were the main reason for treatment. It included reconstruction and renovation of the drainage system, repair or strengthening of the lining. The technologies of chemical grouting, jointing and shotcrete were applied. Evaluation of results of the treatment works will be certainly presented in contributions at the following conference, as reconstruction works in the Svojišský tunnel are about to be completed this year.

Very good level of the conference was improved still by a very interesting contribution of the employees of SUDOP, and thus with an article called Moving the railway station Bratislava (the affiliation) underground. Proposed technological solution of the cut-and-cover tunnel construction, designed in coherence with

Dotěšňování izolací staveb metodou gelové injektáže představili na konferenci pracovníci fy Matheo. Metodou byla provedena dotěšnění foliových izolací i zdíva na železničních propustcích, podjezdech či na stavbách pražského metra trasy IVC1. Metodou celoplošné injektáže a následným dotěšněním výronu akrylátovým gelem se dosáhlo u propustků uspokojivého utěsnění za podstatně nižší ceny než při rekonstrukci odkrytí konstrukce. V závěru článku vyspecifikovali autoři několik poznatků, které je nutno dodržet u projektu a realizaci pro plné začlenění injektážního systému do celkového systému mezilehlých izolací v železobetonových konstrukcích.

Problematice sanací aktivních trhlin v betonových konstrukcích se věnoval článek pracovníka firmy CarboTech Bohemia. V příspěvku byly prezentovány a hodnoceny materiály Crackseal a systém jejich použití.

Ing. Petr Vozarik

results of the mathematical modeling of groundwater flows using the finite element method, was presented. The double-track cut-and-cover railway tunnel together with open cuts reaches a length of about 2000 m.

Employees of the Matheo company introduced the technology of final sealing of a structure waterproofing system using the method of gel grouting. The method had been used by final sealing of membrane systems as well as stonework masonry in railway culverts, underpasses or structures of the IVC1 Prague subway line. As for the leaks, the method of area grouting and subsequent sealing of the leaks using acrylate gel achieved a satisfactory sealing effect for a considerably lower price than by reconstruction with uncovering of the structure. In the end of the article, the authors spelled out several conclusions, which are to be complied with in a design and its implementation in order to fully integrate the grouting system into the overall intermediary waterproofing system for reinforced concrete structures. The article by an employee of Carbon Tech Bohemia focused on the issues of treatment of active cracks in concrete structures. The contribution presented and assessed the Crackseal materials and the system of their application.

## ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES

### CZECH TUNNELLING COMMITTEE ITA/AITES REPORTS

#### Nové předsednictvo ČTuK

V minulém čísle našeho časopisu jsme uveřejnili záznam z Pracovního shromáždění členů ČTuK s výsledky voleb předsednictva na příští čtyřleté funkční období. Jeho členové se již svých funkcí ujali a předseda Ing. Ivan Hrdina svěřil každému z nich jednu z oblastí činnosti komitétu:

Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc. - styk se společnostmi příbuzných oborů, studentské soutěže diplomantů, spolupráce s polským tunelářským časopisem,  
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - zástupce předsednictva v redakční radě časopisu TUNEL,  
Ing. Libor Mařík - webmaster ČTuK, vazba na internetovou stránku ITA/AITES, publikace TUNELU na naší stránce,  
Ing. Petr Mičunek - hospodaření ČTuK,  
Ing. Georgij Romancov, CSc. - příprava Světového tunelářského kongresu, resp. mezinárodních tunelářských konferencí Podzemní stavby Praha,  
Ing. Stanislav Sikora - zastoupení našich členů ve Working Groups ITA/AITES a práce našich pracovních skupin.

V prosinci 2003 se konalo společné zasedání členů starého a nového předsednictva, na němž poděkoval Ing. Hrdina odstoupajícímu předsedovi Ing. Hessovi a ostatním členům za úspěšnou práci v uplynulém funkčním období a předal jim upomínkový dárek. V březnu se sešlo předsednictvo na prvním pracovním jednání, jehož hlavním cílem byla příprava na Světový tunelářský kongres ITA/AITES v Singapuru, naše kandidatura na pořádání Světového tunelářského kongresu 2007 v Praze a příprava příštího Valného shromáždění ČTuK.

Ing. Karel Matzner, sekretář ČTuK / CTuC Secretary

#### New Executive Council of the Czech Tunnelling Committee

The minutes of the CTuC General Assembly was published in the last issue of our magazine with results of the Executive Council elections. Its members were charged by President Ivan Hrdina with one of the CTuC activity:

Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc. - contact with other professional societies, student competitions, collaboration with the Polish tunnel magazine,  
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - representative of the CTuC in the TUNEL editorial board,  
Ing. Libor Mařík - webmaster of the CTuC, contact with the ITA/AITES web site, publishing TUNEL magazine on our web site,  
Ing. Petr Mičunek - economy of the CTuC,  
Ing. Georgij Romancov, CSc. - WTC 2007 preparation, resp. preparation of International Conferences "Underground Construction Praha",  
Ing. Stanislav Sikora - representation of our members in ITA/AITES WG and activity of our working groups.

In December 2003 a common meeting of the former and new Executive Council members was held where President Ivan Hrdina expressed thanks to the resigned President Jindřich Hess and the other members for their successful work during the former function period and gave them some souvenirs. In March the first meeting of the new EC was held. Preparation for the WTC in Singapore, our candidacy for the WTC 2007 and preparation of the forthcoming CTuC General Assembly were its main goals.

## SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES

### SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES REPORTS

#### Z činnosti STA

Po skončení útlme činnosti Slovenskej tunelárskej asociácie na Valnom zhromaždení v polovici r. 2003 sa dostali do jej čela zástupcovia a. s. Doprastavu, na čele s predsedom Ing. Róbertom Turanským a dvomi skúsenými členmi v 7 člennom výbore. Vytvorili princípy programovej činnosti, k čomu postupne získali vedenia jednotlivých členských organizácií pracujúcich v oblasti podzemného staviteľstva. Ustanovili sa tiež vzťahy k ostatným národným asociáciám združených v Svetovej ITA/AITES a predovšetkým k Českej tunelárskej asociácii, s ktorou máme dlhoročnú úzku spoluprácu. Na jednotlivých rokovaniach výboru sme riešili finančné zabezpečenie činnosti STA a predovšetkým zachovanie možnosti spoločného vydávania úspešného odborného časopisu TUNEL, ako aj vzájomnej aktívnej podpory odborných podujatí. Za tým účelom sme pripravili zmenu stanov STA, kde sme valorizovali členské príspevky a navrhli odborné podujatia od menších 1 dňových aktivít až po medzinárodnú konferenciu, pričom finančný efekt týchto akcií by sa použil výhradne pre podporu činnosti STA, čím by sa naplnilo základné zameranie asociácie. Zmenené stanovky budú schvaľované Valným zhromaždením, ktoré je stanovené na 20. 4. 2004 do Prievidze a následne sa potvrdia na Ministerstve vnútra SR ako zakladateľom nevládných organizácií. Samotná príprava konferencie s medzinárodnou účasťou pod názvom „VÝZNAM TUNELOV V DOPRAVE“, ktorá sa uskutoční 16.-18. 6. 2004 vo Vysokých Tatrách na Podbanskom v hoteli Permon, je v pokročilom štádiu prípravy a má značný ohlas, čo usudzujeme z približne 60 prihlásených príspevkov a stále narastajúci počet účastníkov a firm. Taktiež sa pripravujeme na účasť na Svetovom tunelárskom kongrese, ktorý sa uskutoční v Singapure v máji tohto roku, ako aj na účasť na jeho Valnom zhromaždení v zložení predsedu STA a približne 6 ďalších členov. Na Svetovom kongrese chceme podporiť snahu našich Českých kolegov v usporiadaní Svetového tunelárskeho kongresu v roku 2007 v Prahe. V prípade jeho úspešnosti pripravujeme jednu z exkurzných trás ponúknuť na stavby slovenských tunelov, ako aj prehliadku našej krajiny.

Ing. Juraj Keleši, člen výboru / Council Member

Following the period of attenuated activity of the Slovakian Tunnelling Association, representatives of Doprastav, a.s., led by chairman Ing. Róbert Turanský and two experienced members in the 7-member committee, took control at its General assembly in the half of 2003.

They formed principles of consistent activity, for which they won support from leaders of the individual member organizations employed in the field of underground construction. At the same, ties with other national associations have been established, especially with the Czech Tunnelling Committee, with which we have been closely cooperating for years. Separate sessions of the committee dealt with financing of the STA and most importantly the possibility to preserve existence of the successful, mutually published professional magazine TUNEL, and also with active reciprocal support for specialized proceedings. In order to achieve these, we prepared revisions of the STA statute, where we increased the membership fees, proposed specialized events from small-scale one-day activities to an international conference, while financial gains from these events would be used solely for purposes of the STA activities, which would in fact fulfill elementary purpose of the association. Revised statute will be presented at the General assembly for approval, which is scheduled in Prievidza on April 20, 2004. Subsequently, they are to be approved by the Slovakian Ministry of the interior as a founder of all non-governmental organizations. The own preparation of the conference with international participation called "SIGNIFICANCE OF TUNNELS IN TRANSPORT", which will take place in the Permon hotel High Tatra during June 16-18, 2004, proceeds into the advanced phase and has a remarkable feedback, judged by the about 60 submitted contributions and constantly rising numbers of participants and companies. We are also preparing for participation of Slovakia in the World Tunnelling Congress, which will take place in Singapore in May this year, namely for participation in its General Assembly with a team consisting of STA chairman and approximately 6 other members. At the World Tunnelling Congress, we are willing to support the bid of our Czech colleagues for organization of the World Tunnelling Congress in Prague in 2007. In case of its success, we are about to prepare one of the excursion routes offering visit to the constructions of Slovakian tunnels as well as overview of our landscape.



- DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURA
- ÚZEMNÍ PLÁNOVÁNÍ
- POZEMNÍ A INŽENÝRSKÉ STAVITELSTVÍ
- INŽENÝRSKÉ SÍTĚ A VODOVODY
- PODZEMNÍ STAVITELSTVÍ
- PODZEMNÍ ZÁSOBNÍKY A ÚLOŽIŠTĚ

## PRO PODZEMNÍ STAVBY PROVÁDÍME

- zajišťování a vyhodnocování geotechnických a hydrogeologických průzkumů
- konzultace, expertní posudky (inženýrská geologie, hydrogeologie, geomechanika)
- zpracování průzkumných podkladů pro životní prostředí
- stavebně geologický průzkum a navazující výpočty (AutoCAD, gdBase, FINE)
- vedení geologických databází (GeProDo)

### Sídlo společnosti

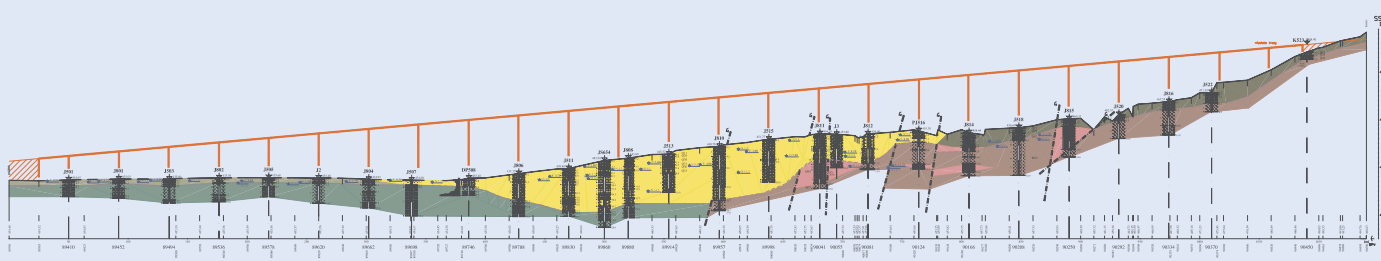
#### ARENAL s.r.o.:

Radlická 2485/103, Praha 5, 150 00  
web: [www.arenal.cz](http://www.arenal.cz)

### Kontakt:

tel.: 224 826 496  
fax: 224 828 037  
e-mail: [horacek@arenal.cz](mailto:horacek@arenal.cz)

OPERATIVNOST – RYCHLOST – NÍZKÁ CENA – VYSOKÁ KVALITA





# GEOTECHNICAL TESTING IN UNDERGROUND



- Geotechnical investigations
- Rock, Soil and Water on-site testing
- Rock, Soil and Water laboratory testing
- Geomonitoring and groundwater control
- Geotechnical and Hydrogeological calculations
- Geophysics for underground constructions
- Geotechnical consulting
- Environmental studies and monitoring
- Waste management

**Call us on your next project:**

GEOtest Brno, a.s., Smahova 112, 659 01 Brno, Czech Republic

Tel.: +420 548 125 111, fax: +420 545 217 979, e-mail: [trade@geotest.cz](mailto:trade@geotest.cz)

[www.geotest.cz](http://www.geotest.cz)

