

# ŘÍZENÍ A GEOMONITORING RAŽEB TUNELŮ STAVBY 513 SILNIČNÍHO OKRUHU KOLEM PRAHY

## EXCAVATION CONTROL AND MONITORING OVER TUNNELS IN CONSTRUCTION LOT 513 OF THE PRAGUE CITY RING ROAD

PETR SVOBODA, IGOR ZEMÁNEK

### ÚVOD

Stavba 513 Silničního okruhu okolo Prahy (SOKP) patří k nejvýznamnějším dopravním stavbám budovaným v současnosti na území České republiky. Po svém dokončení, spolu se sousedními stavbami 512 (propojujícími jižní část okruhu s dálnicí D1) a 514 (jižní část okruhu na levém břehu Vltavy, směr letiště Ruzyně a dálnice D5), pomůže významně snížit dopravní zatížení jižní části hlavního města v oblasti Jižní spojky, Barrandovského mostu a Barrandovské radiály.

Největším objektem stavby 513 je silniční tunel délky 1935 m.

### PROJEKT TUNELŮ

Nově budovaný silniční tunel ražený Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) je tvořen dvěma paralelními tubusy propojenými osmi tunelovými propojkami.

Jižní třípruhový (stoupající) tunel převádějící dopravu směrem od dálnice D5 k dálnici D1 je tvořen třemi stavebními objekty – SO 608 hloubený úsek u cholupického portálu, SO 603 ražená část tunelu a SO 606 hloubený úsek u komořanského portálu. Celková délka tunelu je 1935 m, z toho ražená část 1678 m. Délka hloubených úseků je 257 m (173 m Komořany a 84 m Cholupice).

Objektové členění severního dvupruhového (klesajícího) tunelu je obdobné objektovému složení jižního tunelu – SO 607 hloubený úsek u cholupického portálu, SO 602 ražená část tunelu a SO 605 hloubený úsek u komořanského portálu. Ražená část tunelu má délku 1677 m, hloubené úseky 248 m (171 m Komořany a 77 m Cholupice).

Délka tunelových propojek (SO 604) se mění v závislosti na jejich poloze. K tunelu také patří výdechový a nasávací objekt Nouzov (SO 609). V rámci tohoto objektu byla vyhloubena 45 m hluboká vzduchotechnická šachta a v současnosti je ražena obchozí vzduchotechnická štola.

Ve dvupruhovém tunelu budou provedeny dva odstavné zálivy délky 60 m (obr. 1).

### GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Horninový masiv v trase tunelu tvoří dva stratigrafické celky ordovik a proterozoikum.

Ordovické vrstvy jsou zastoupeny pevnými horninami letenského souvrství, které je charakteristické flyšovým vývojem. Souvrství je tvořeno



Obr. 1 Poslední záběr v odstavném zálivu dvupruhového tunelu při ražbě od Cholupic

Fig. 1 The last excavation round at the lay-by in the double-lane tunnel during the excavation from the Cholupice portal

### INTRODUCTION

Construction lot 513 of the Prague City Ring Road (PCRR) project belongs among the most important transport-related constructions which are currently being implemented in the Czech Republic. Once it has been completed, it will, together with the neighbouring construction lots 512 (a connection between the southern part of the Ring Road to the D1 motorway) and 514 (the southern part of the Ring Road found on the left bank of the Vltava River, heading toward the Ruzyně airport and the D5 motorway), help to significantly reduce the traffic volume in the southern sector of the capital, in the area of the Southern Connection Road, the Barrandov Bridge and Barrandov Radial Road.

The largest structure in construction lot 513 is a 1935m long tunnel.

### TUNNEL DESIGN

The new road tunnel, which is being built using the New Austrian Tunnelling Method (NATM), consists of two parallel tunnel tubes, which are interconnected by eight cross passages.

The southern triple-lane (ascending) tunnel tube, which carries traffic in the direction from the D5 motorway toward the D1 motorway, comprises three sub-structures, i.e. SO 608 (the cut and cover section at the Cholupice portal), SO 603 (the mined section of the tunnel) and SO 606 (the cut-and-cover section at the Komořany portal). The tunnel is 1935m long in total, with the mined part 678m long. The cut and cover sections are 257m long in total (173m on the Komořany side and 84m on the Cholupice side).

The division of the northern double-lane (descending) tunnel tube into sub-structures is similar to that of the southern tube: SO 607 – the cut and cover section at the Cholupice portal, SO 602 – the mined tunnel section and SO 605 – the cut and cover section at the Komořany portal. The mined part of the tunnel tube is 1677m long; the aggregate length of the cut and cover sections is 248m (Komořany side - 171m; Cholupice side - 77m).

The length of the cross passages (SO 604) varies depending on their locations. The Nouzov exhaust and intake ventilation structure (SO 609) is also part of the tunnel. A 45m deep ventilation shaft was sunk within the framework of this sub-structure and a diversion ventilation adit is being excavated.

Two lay-bys will be provided in the double-lane tunnel, each of them 60m long. (Fig. 1).

### GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONDITIONS

The rock mass the tunnel route passes through consists of two stratigraphical units: the Ordovician and Proterozoic.

The Ordovician measures are represented by massive rocks forming the Letná Member, which is characterised by the flysch background. The Letná Member consists mainly of siltstone and silty shale, with a smaller proportion of quartzite. In an unweathered condition, the colours of the rocks are mostly grey to black-grey. These rocks can be classified as sound, slightly weathered in the vicinity of faults, locally even weathered. The massif is heavily tectonised. (Fig. 2).

The Proterozoic rocks, which are represented by silty shale, sandy shale, greywacke to quartziferous shale and greywacke, form the Pre-Quaternary bedrock throughout approximately a half of the route length. In an unweathered condition, the rocks are mostly grey to grey-black; the slightly weathered rocks are usual-

převážně prachovci a prachovitými břidlicemi, méně jsou zastoupeny křemence. V nezvětralém stavu mají horniny většinou šedou až černošedou barvu. Tyto horniny lze klasifikovat jako zdravé, v okolí poruch navětralé, místy až zvětralé. Masiv je silně tektonicky porušen (obr. 2).

Proterozoické horniny zastoupené siltovými, písčivými, drobovými až křemitými břidlicemi a drobami budují předkvartérní podklad zhruba v polovině trasy. V nezvětralém stavu mají horniny většinou šedou až černošedou barvu, navětralé horniny mívají nazelenalé odstíny a zvětralé horniny jsou hnědé až okrové barvy. Horniny bývají rezavě a hnědě laminované, deskovitě vrstevnaté a na vrstevných plochách limonitizované (obr. 3).

Celkově vykazuje horninový masiv vysoký stupeň stability. Výjimku tvoří příportálová část u cholupického portálu tunelu (do vzdálenosti cca 150 m od raženého portálu). Z hlediska geotechnického zařazení výrubu není mezi oběma celky žádný rozdíl. Hranice mezi nimi je velmi obtížně rozeznatelná a bude upřesněna na základě petrografických rozborů vzorků odebraných z výrubu.

Z hydrogeologického hlediska lze v prostoru trasy vydělit tři typy kolektorů. Prvním je svrchní zvodnění, které je vázáno na přípovrchovou vrstvu navětrání a rozvolnění ordovických a proterozoických skalních hornin. Kolektorem často jsou i nadložní kvartérní deluviální sedimenty. Jedná se o průlinopuklinové zvodnění většinou s volnou hladinou podzemní vody, která je pouze lokálně, pod sprašovými polohami, napjatá. Hloubkový dosah zvodnění je do cca 30 m.

Ve větších hloubkách hydrogeologického masivu, tvořeného skalními horninami ordoviku a proterozoika, je vyvinuto puklinové zvodnění. Hydraulická vodivost je po těchto, pro vodu predisponovaných cestách, vyšší než v nadložním přípovrchovém kolektoru.

Třetím typem kolektoru jsou hrubozrnné písky a místy šterky v pleistocénní vltavské terase, kterou prochází předportálový zářez u komořanských portálů. Jedná se o průlinové zvodnění s dobrou propustností a s volnou hladinou podzemní vody.

Výrub i čelba kaloty jsou během ražeb převážně suché. Pouze ve stanicích TM 780 a TM 1060 třípruhového tunelu docházelo k větším a v TM 920 a TM 1190 k menším výronům podzemní vody, s postupem ražby ve dně kaloty a následně po dobírce lavice i v počvě tunelu. Po celou dobu ražby třípruhového tunelu se projevoval výrazný drenážní účinek průzkumné štoly.

## ZPŮSOB ZADÁNÍ STAVBY

Stejně jako u stavby 514 ovlivnila vznik modelu řízení (způsob klasifikace, zařazení, oceňování a fakturace) použitého pro ražby tunelů zadávací dokumentace stavby. Zadávací dokumentace tunelu stavby 513 SOKP byla zpracována podle stejných zásad jako dokumentace stavby 514. Tato problematika je velmi dobře popsána v článku (M. Srb) který vyšel v časopise Tunel 2/2008. Nebudeme zde proto opakovat podrobný popis zadání, ale uvedeme pouze informace rozhodující pro vytvořený model řízení ražeb.

Pro účely ocenění a úhrady ražby 1 m tunelu (a samozřejmě i předcházející nabídky) byly vytvořeny agregované položky pro jednotlivé technologické třídy výrubu (TTV). Tato agregovaná položka pro 1 m raženého tunelu se skládá z jednotlivých oceněných dílčích položek prací



Obr. 2 Typická čelba v příportálové oblasti dvoupruhového tunelu u Komořanského portálu

Fig. 2 Typical excavation face in the portal area of the double-lane tunnel at the Komořanský portal

ly greenish and weathered rocks are brown to ochre. The rocks are often rusty and brown laminated, heavy-bedded and limonitised on bedding planes. (Fig. 3)

On the whole, the rock mass exhibits a high degree of stability. The Cholupice portal part of the tunnel (up to the distance of about 150m from the mined portal) is an exception. In terms of the geotechnical categorisation of the excavation, there is nearly no difference between the two geological units there. The boundary between them is very difficult to recognise; it will be adjusted on the basis of petrographical analyses of the samples taken from the excavation.

From the hydrological point of view, three types of aquifers can be found in the area along the route. The first of them is a sub-surface saturated zone, which is bound to the surface layer of the Ordovician and Proterozoic rocks affected by slight weathering and loosening. Overlying Quaternary deluvial sediments also often form an aquifer. It is a combined interstitial-fissure type of aquifer, mostly with a phreatic surface of ground water, which is confined only locally, under loess layers. This type of aquifer does not reach deeper than about 30m under the surface.

At greater depths of the hydrogeological massif, which consists of the Ordovician and Proterozoic rocks, we can encounter the fissure type of aquifer. The hydraulic conductivity along fissures, which are predisposed to form paths for water, is higher than that in the upper sub-surface aquifer.

The third type of aquifer is formed by coarse-grained sands and locally by gravel in the Pleistocene Vltava River terrace through which the Komořany-side pre-portal construction trench cuts. It is an interstitial ground water body with good permeability and a phreatic surface.

The excavated opening and the excavation face are mostly dry during excavation. Exceptions were encountered at chainages of 780m and 1060m, where rather major inflows of ground water appeared, and chainages of 920m and 1190m, where minor inflows had to be coped with during the excavation of the bottom of the top heading and the subsequent excavation of the bench and tunnel invert. The drainage effect of the exploration gallery was obvious throughout the period of the triple-lane tunnel excavation.

## THE DEFINITION OF TENDER CONDITIONS

The development of the tunnel excavation control model (the method of classification, categorisation, pricing and invoicing) was influenced by the tender conditions, in the same way as in the case of the construction lot 514. The tender documents for construction lot 513 of the PCRR were developed following the same principles as those for construction lot 514. This problem is very well described in the paper (M. Srb, 1) which was published in Tunel 2/2008. Therefore, we are not going to describe it repeatedly. Instead, we will present only the information which is crucial for the excavation control model which was developed for lot 513.



Obr. 3 Typická čelba v příportálové oblasti dvoupruhového tunelu u Cholupického portálu

Fig. 3 Typical excavation face in the portal area of the double-lane tunnel at the Cholupický portal

při ražbě a navržených prostředků zajištění. Prostředkem zajištění se rozumí stříkaný beton se sítí, svorníky (kotvy), příhradové rámy, jehly atd.

Délka záběru je v každé TTV udána rozsahem OD – DO. Se změnou délky záběru se mění skutečný rozsah provedených prací i množství zabudovaných prostředků zajištění výrubu na běžný metr. Zadávací dokumentace proto stanovuje hodnotu  $\pm 20\%$  jako rozsah intervalu, ve kterém je umožněno toto množství měnit bez vlivu na účtovanou cenu za metr ražby tunelu.

Obdobný způsob používá rovněž u některých položek zadání geotechnického monitoringu, např. při měření deformací primárního ostění v tunelu jsou agregovány všechny položky do dvou (dodávka a osazení měřicího bodu a počtu měření). Tato činnost je odměňována paušálně za časovou jednotku (např. měsíc) při definování celkového počtu měřičských profilů a max. počtu měření během celého provádění monitoringu.

Toto opatření zjednodušuje oceňování a úhradu prací. Zároveň se zvyšuje využití flexibility NRTM v českých podmínkách. To přispívá k efektivnímu provádění ražebních prací.

## NADVÝLOMY BĚHEM RAŽEB

V zadávací dokumentaci jsou samozřejmě uvedeny i zásady pro úhradu nadvýlomů vzniklých během ražeb tunelů. Hranice nezaviněného (technologického) nadvýlomu je určena křivkou rovnoběžnou s hranicí teoretického líce výrubu ve vzdálenosti 250 mm. V dané ploše jsou zahrnuty i radiální deformace do výrubu a nutné zvětšení profilu z důvodu směrového vedení a omezené přesnosti ražby. Odvoz rubaniny a zaplnění tohoto prostoru SB je hrazeno paušálně a kompenzuje zhotoviteli výkony, které musí v určitém rozsahu provést vždy z technologických důvodů.

Sanace nadvýlomu mezi 250 mm a 500 mm radiálně nad teoretickým lícem výrubu (tj. odvoz rubaniny z nadvýlomu a zaplnění nadvýlomu SB) není hrazena nikdy.

Geologicky podmíněný nezaviněný nadvýlom je objednatelem hrazen až při překročení hranice 500 mm, pokud je v každém jednotlivém případě větší než  $1 \text{ m}^3$ .

## ZPŮSOB ŘÍZENÍ RAŽEB

Zadávací podmínky popsané výše v kapitole Způsob zadání stavby umožnily současně se zahájením ražeb zavést denní schůzky ražeb. Denní schůzka představuje pravidelné setkání odpovědných zástupců zadavatele, zhotovitele a kanceláře geotechnického monitoringu. Schůzka je svolána i operativně, na základě zastižených geotechnických podmínek a podle potřeb stavby. Na straně zadavatele se schůzky účastní i zástupce odborného konzultanta. Denní schůzky nenahrazují jednání rady monitoringu a technické rady (RAMO). V případě tunelů stavby 513 SOKP denní schůzky doplňují radu monitoringu a rozdělují tak řídicí strukturu na část operativní (provozní) a část kontrolní a řídicí.

Denní schůzky se zabývají pouze ražbou tunelů. Výsledkem jednání schůzky je rozhodnutí o zařazení ražby do příslušné technologické třídy výrubu (TTV), rozhodnutí o délce záběru, množství vstrojovacích prostředků a například v případě jehel a svorníků i o jejich rozmístění, délce apod. Toto rozhodnutí je, na základě shody zúčastněných, potvrzeno jako schéma vstrojení výrubu na příští období. Pokud nedojde ke shodě, je rozhodnutí o dalším postupu závislé na jednání mimořádné rady monitoringu svolané vedoucím kanceláře monitoringu.

RAMO tak vzhledem k ražbě tunelu plní hlavně kontrolní funkci, prováděnou v pravidelných intervalech. Rada je seznámena se zastiženými geotechnickými podmínkami, výsledky kontrolních měření geotechnického monitoringu a odpovídajícím zařazením ražeb do technologických tříd výrubu.

Toto uspořádání radě umožňuje věnovat větší pozornost dalším problémům spojeným s výstavbou rozsáhlého podzemního díla. Jedná se o kontrolu plnění průběžných termínů prací, koordinaci prací na realizační dokumentaci stavby, atd.

Pracovní náplň odborného konzultanta investora, jako zaměstnance nezávislé konzultační firmy pracující pro investora stavby, se pak oproti původním předpokladům blíží více úloze kompetentního pracovníka investora ve funkci stavebního dozoru či supervize ražeb nebo geotechnika (tzv. Engineer podle FIDIC) podílejícího se na rozhodnutích o geotechnickém zařazení, systému vstrojení a o způsobu postupu ražby přímo na stavbě v souladu s principy observační metody. Tento pracovník vykonává i odborný dozor nad prováděným geotechnickým monitoringem stavby a podílí se na upřesňování programu jednotlivých měření na příští období.

Aggregated items were developed for individual excavation support classes (ESC) for the purpose of the pricing and payment for running meter of the tunnel (of course even for the preceding bidding purposes). An aggregated item for 1m of the mined tunnel comprises costs of individual partial items of operations carried out during the construction and the means designed for the excavation support. The means of the excavation support comprise shotcrete, steel mesh, rock bolts (anchors), lattice girders, dowels etc.

The excavation round length is specified for each ESC by a range FROM – TO. The actual amount of work and of the means of excavation support to be installed per a running metre of the tunnel changes with the changing round length. For that reason, the tender documents stipulate a value of  $\pm 20\%$  to be the range of the interval within which this amount can vary without an impact on the invoiced cost per metre of the tunnel excavation.

A similar approach is adopted in the cases of some items of the specifications for the geotechnical monitoring; for example, all items of the measurement of deformations of the primary lining in the tunnel are aggregated into only two items (the supply and installation of a measurement point and the number of measurements). This activity is paid for by a lump price for a unit of time (e.g. for a month); the total number of the measurement stations and maximum number of measurements throughout the monitoring operation is defined.

This approach simplifies the pricing and payment for the work. At the same time, the exploitation of the flexibility of the New Austrian Tunnelling Method in Czech conditions is increased. It contributes to the effectiveness of the tunnel excavation.

## OVERBREAKS DURING THE EXCAVATION

Of course, the tender documents even contain principles dealing with the payment for the overbreaks which will originate during the tunnel excavation. The boundary of an unavoidable overbreak is determined by a curve which is parallel with the theoretical contour of the excavated opening, drawn at a distance of 250mm. Radial deformations toward the excavation and the enlargement of the profile which is necessary for the purpose of the directional guidance and because of the limited accuracy of the excavation are included in the area determined by this boundary. The removal of muck and filling of the overbreak with shotcrete is paid for by a lump sum, which compensates the contractor for the operations which must be always (to a certain extent) carried out for technical reasons.

The treatment of an overbreak reaching 250mm to 500mm beyond the theoretical excavation contour (i.e. the removal of muck attributable to the overbreak and filling of the overbreak with shotcrete) is never paid for.

A geologically conditioned, unavoidable overbreak is paid for by the client only when the 500mm boundary is crossed and each particular overbreak is larger than  $1 \text{ m}^3$ .

## EXCAVATION CONTROL SYSTEM

The tender conditions described above in chapter “The definition of tender conditions” made it possible to establish a system of “Daily Excavation Meetings”, starting concurrently with the beginning of the tunnel excavation. The Daily Meeting represents a regular meeting of responsible representatives of the client, contractor and the geotechnical monitoring office. The meeting is called even operatively, on the basis of the encountered geotechnical conditions and if needed by the construction. A representative of the technical consultant for the client is another member who attends the meeting. The daily meetings do not substitute the meetings of the “Monitoring Board and Technical Board” (MOBO). Regarding the tunnels of the construction lot 513 of the Prague City Ring Road, the daily meetings are a supplement to the Monitoring Board meetings; thus the management structure is divided into an operative (operating) part and control and management part.

The Daily Meetings deal only with the tunnel excavation. The meeting result has the form of a decision on the determination of the relevant excavation support class, decision on the round length, the amount of the means of support and, in the case of dowels and

Obr. 4 Formulář – Schéma vstrojení a způsob ražby  
Fig. 4 Form – Excavation Support Scheme and Excavation Procedure

Technický dozor investora může věnovat větší pozornost správnému provádění a kvalitě všech prací.

### ZATŘÍDĚNÍ DO TECHNOLOGICKÝCH TŘÍD VÝRUBU A SCHÉMATA VYSTROJENÍ

Jak již bylo popsáno výše, zařazení ražby tunelů do konkrétní technologické třídy výrubu a stanovení příslušného schématu zajištění provádí skupina pracovníků účastnících se denních schůzek ražeb. Rozhodnutí o dalším postupu (vyhotovení schématu zajištění) je podloženo denní přítomností jednotlivých pracovníků na čelbách ražeb obou tunelů i propojek a využíváním informací o výsledcích prováděných kontrolních měření v rámci monitoringu. Pro ražbu dvoupruhového tunelu jsou velmi důležitým podkladem pro další rozhodnutí dostupná data z ražby průzkumné štoly i zkušenost s odezvou horninového masivu při ražbě třípruhového tunelu.

Rozhodování o vstrojení a dalším postupu ražby probíhá ve dvou krocích. Nejdříve je přijato rozhodnutí o technologické třídě výrubu, kde je základním kritériem příslušná možná délka záběru. Druhým krokem je možná úprava množství jednotlivých vstrojovacích prvků v dané technologické třídě (svorníky, jehlování, bezpečnostní nástřík čelby a výrubu, zajištění čelby kotvením atd.) a případně i způsobu pobírání jednotlivých dílčích výrubů.

Po získání shody je vyplněn formulář Schůzka ražeb tunelů SOKP 513 – Schéma vstrojení a způsob ražby (obr. 4). Účastníci schůzky potvrdí vyplněný formulář svými podpisy. Každý z účastníků obdrží kopii. Originál je uložen v kanceláři vedoucího monitoringu. Jednotlivá schémata jsou číslována průběžně pro každý tunel. Jednotlivé ražby jsou pro větší přehlednost odlišeny barevně. Na schématu zajištění je vyznačeno od kdy (tj. od kterého záběru) schéma platí. Schéma zůstává v platnosti do vyvolání další změny.

Na konečnou podobu vstrojení výrubu mohou mít výrazný vliv i jiné než geotechnické podmínky. Jako příklad uvádíme cca 150 m dlouhý příportálový úsek dvoupruhového tunelu na komořanské straně. V této oblasti odpovídala kvalita zastíženého horninového masivu technologické třídě výrubu 3. Zhotovitel však nebyl schopen otevřít výrub na požadovanou délku vzhledem k určení maximální mezní nálože na časový stupeň ani v délce minimálního záběru v této třídě. Ražba zde proto probíhala v TTV 4 s výrazným snížením množství použitých vstrojovacích prostředků.

Důležitou roli při rozhodování o jednotlivých schématech zajištění hraje i spolupráce se zpracovatelem realizační dokumentace stavby.

### GEOTECHNICKÝ MONITORING RAŽBY TUNELŮ

Ražba tunelů je prováděna jako konvenční, cyklická, podle zásad NRTM. Nedílnou součástí takto prováděných ražeb je vždy i geotechnický monitoring jako soubor pozorování a měření horninového prostředí a jeho odezvy na ražbu podzemního díla. Samozřejmě že podle podobných principů je navržen i monitoring stavebních jam hloubených částí tunelu. V našem článku se blíže zmíníme o měřeních prováděných v rámci ražeb, která jsou důležitá pro rozhodování o zařazení.

rock bolts, on the installation pattern, their lengths etc. This decision is confirmed on the basis of mutual agreement of the participants to be the specification of the excavation support system to be used in the subsequent period. If the agreement is not achieved, the decision on the procedure to be further used depends on an extraordinary meeting of the Monitoring Board, which is called by the head of the monitoring office.

Thus the MOBO mainly fulfils the checking function in relation to the tunnel excavation, which is exercised at regular intervals. The board is acquainted with the encountered geotechnical conditions, results of the checking measurements performed by the geotechnical monitoring and the respective excavation support classification.

This system allows the Board to pay higher attention to other problems associated with the implementation of the extensive underground construction, namely the checking whether running deadlines are met, the coordination of the work on the detailed design etc.

The work load on the technical consultant for the client, who is an employee of an independent consultancy firm employed by the client, is then, in contrast with the original assumptions, closer to the role of a competent employee of the client in the function of client's supervision engineer or an excavation supervisor (the Engineer according to the FIDIC), who participates in the making of decisions on the geotechnical classification, the excavation support system and the excavation procedure directly in situ, in compliance with the observational method principles. This person carries out even the professional supervision over the performance of the geotechnical monitoring and participates in the adjustment of the programme of individual measurements for the subsequent period.

Client's supervision engineer can pay more attention to the proper execution and quality of all operations.

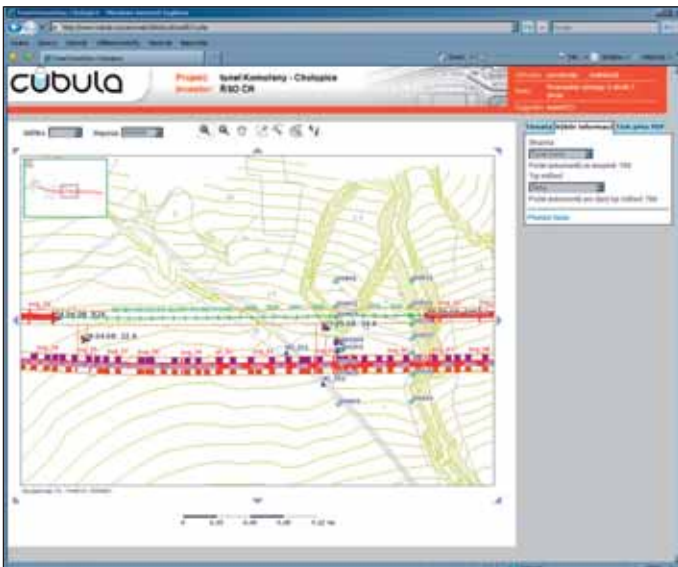
### DETERMINATION OF EXCAVATION SUPPORT CLASSES AND SUPPORT SCHEMES

As described above, the determination of particular excavation support classes and respective support schemes is carried out by a group of workers who attend "Daily Excavation Meetings". The decision on the further procedure (the preparation of the support scheme) is based on the daily presence of individual workers at the excavation faces of the two tunnels and cross passages and the exploitation of the information about the results of the checking measurements which are carried out within the framework of the monitoring. A source of information which is very important for the excavation of the double-lane tunnel is the available data which was obtained during the excavation of the exploratory gallery and the experience of the rock mass response obtained during the excavation of the triple-lane tunnel.

The process of deciding on the support and subsequent procedure is divided into two steps. First, the decision on the excavation support class is adopted; the basic criterion is the respective possible round length. The second step is the possible modification of the amount of individual support elements required for the particular excavation support class (rock bolts, dowels, shotcrete to the excavation face and walls, support of the face by anchors etc.) and, if necessary, a change in the excavation sequence.

When the mutual agreement is achieved, the format "PCRR 513 Tunnel Excavation Meeting – Excavation Support Scheme and Excavation Procedure" (Fig. 4) is filled. The participants in the meeting confirm the filled format by their signatures. Each of the participants receives a copy. The original copy is deposited in the office of the head of the monitoring. Individual schemes are numbered consecutively for each of the tunnels. Individual headings are distinguished in colours for better lucidity. The excavation round from which the support scheme is applicable is marked in the drawing. The scheme remains valid until a change is necessary.

The final solution to the excavation support can even be significantly affected by other than geotechnical conditions. As an example, we present the about 150m long portal section on the Komořany side of the double-lane tunnel. In this area, the encountered quality of the rock mass corresponded to excavation support class 3. Nevertheless, the contractor was not able to maintain the



Obr. 5 Vstupní dialog systému Cubula  
Fig. 5 Entering dialogue of the CUBULA system

Cílem prováděného monitoringu je:

- získání informací o deformačním a stabilitním chování masivu pro zajištění bezpečnosti práce;
- získání podkladů pro klasifikaci masivu a optimalizaci navrženého zajištění výrubu (primárního ostění);
- získání podkladů pro návrh sekundárního ostění;
- plnění požadavků pro zajištění bezpečnosti práce;
- získání dostatečných informací pro řízení geotechnických rizik vznikajících během provádění ražeb.

Prováděný monitoring se skládá z těchto kontrolních měření a pozorování:

**Geotechnické sledování ražeb:** Dokumentaci čelb provádí odborný geolog pro každý záběr do speciálního formuláře. Ve skalních a poloskalních horninách ordoviku a proterotoika geolog předně sleduje a vyhodnocuje tektonickou situaci líce výrubu ve vztahu k možným projevům strukturální nestability výrubu. Na základě tohoto pozorování a dokumentace se geologická služba podílí na vypracování prognóz geologických podmínek pro další ražbu. K tomu využívá i informací získaných z předchozích ražeb (průzkumná štola, třípruhový tunel).

**Konvergenční měření primárního ostění:** Jedná se o geodetické, trigonometrické měření líce primárního ostění v jednotlivých profilech. Ražba tunelů je prováděna s horizontálním členěním čelby. Výrub tunelu je rozdělen na kalotu a lavici, resp. kalotu, lavici a dno. Každý profil se skládá z pěti bodů, tří v kalotě a dvou v lavici. V případě nutnosti je osazen mimořádný měřičský profil.

Při geodetických měřeních deformací primárního ostění jsou v našem případě měřeny velmi malé deformace primárního ostění. Hodnoty svislých i vodorovných deformací jsou neobvykle malé. Po průchodu kaloty obvykle dosahují hodnot do 5 mm. Svislé deformace po průchodu lavice nepřesahují 20 mm.

**Extenzometrické měření (hloubková nivelace):** Jedná se o měření vertikálních posunů v libovolných hloubkových úrovních pod povrchem terénu. Cílem extenzometrického měření z povrchu terénu je objektivně stanovit v předstihu před ražbou deformace horninového masivu v různých hloubkových úrovních pod terémem. A následně stanovit hranici ovlivnění horninového masivu vzhledem k výrubu. Časová rezerva umožňuje zhotoviteli čas reagovat na případné anomálie deformačního procesu v průběhu ražby.

Na povrchu terénu jsme nad oběma tunelovými tubusy osadili extenzometrický profil, v místě nad druhým odstavným zálivem ve dvoupruhovém tunelu. Intenzivní sledování profilu v době procházení jednotlivých ražeb potvrdilo velmi malou odezvu horninového masivu na probíhající ražby.

**Geodetické sledování povrchu terénu (nivelace):** Slouží ke zjištění odezvy ražby tunelů na povrch terénu nad tunelem a k ověření exkluzivní zóny (projektem stanovené území dotčené razíčovými pracemi). Výsledky měření jsou interpretovány jako grafy časového vývoje poklesu povrchu a jako příčné profily poklesové kotliny. Celkem je osazeno

required round length with respect to the prescribed maximum charge weight per delay limit; even the minimum round length specified for this class could not be achieved. For that reason, the excavation was carried out as if the excavation support class 4 had been determined, whereas the amount of the means of support was significantly reduced.

The collaboration with the author of the detailed design plays also an important role in the process of the deciding on individual support schemes.

## GEOTECHNICAL MONITORING OF THE TUNNEL EXCAVATION

The tunnels are excavated conventionally, in excavation cycles, following the NATM principles. Inseparable part of the excavation is always geotechnical monitoring as a set of observations and measurements of the rock environment and its response to the underground excavation. Of course, the monitoring over the construction trenches in the cut and cover sections of the tunnel was designed according to similar principles. In our paper, we mention in more detail the measurements which are conducted within the framework of the tunnel excavation and which are important in terms of the determination of the excavation support classes.

The objective of the monitoring is as follows:

- to obtain information about the deformational and stability-related behaviour of the rock mass which are significant for the assurance of safety at work
- to obtain basic data for the rock mass classification and optimisation of the excavation support design (the primary lining)
- to obtain basic data for the secondary lining design
- to meet requirements for the assurance of safety at work
- to obtain sufficient information for the control of the risks which originate during the tunnel excavation

The monitoring which is being carried out consists of the following checking measurements and observations:

**Geotechnical monitoring of the tunnel excavation:** The documentation of the headings is maintained by a professional geologist, who fills special formats for each excavation round. Regarding the Ordovician and Proterozoic rock and semi-rock, the geologist follows and assesses the tectonic condition of the excavation face in relation to potential manifestations of structural instability of the excavated opening. On the basis of this observation and documentation, the geological service participates on the development of prognoses for the subsequent excavation. In doing so, it uses the information obtained during the previous excavation (the exploration gallery, the triple-lane tunnel).

**Primary lining convergence measurements:** They comprise the geodetic survey, trigonometric survey of the primary lining in individual measurement stations. The tunnel excavation sequence consists of a top heading and bench or a top heading, bench and bottom. There are five points in each measurement station: three in the top heading and two in the bench. An extraordinary measurement station is installed if necessary.

In our case, very small deformations of the primary lining are found by the geodetic survey. The values of vertical and horizontal deformations are unusually small. They usually reach the values smaller than 5mm after the passage of the top heading. After the passage of the bench excavation face, vertical deformations do not exceed 20mm.

**Extensometer measurements (the deep levelling):** This is the measurement of vertical displacements at arbitrary depths under the ground surface. The objective of extensometer measurements is to objectively determine deformations of the rock mass ahead of the excavation, at various depth levels under the terrain; subsequently, to determine the limit of the effect on the rock mass relative to the excavated opening. The time reserve allows the contractor to timely respond to contingent the anomalies in the deformation process which occur during the course of the excavation.

We established an extensometer measurement station above both tunnel tubes, at the location of the second lay-by in the double-lane tunnel. The intense observation of the measurement station during the passage of individual excavation faces confirmed that the response of the rock mass to the progressing excavation was very small.



Obr. 6 Ražba tunelu z výhybny průzkumné štoly  
Fig. 6 Tunnel excavation from the passing bay in the exploration gallery

a měřeno osm profilů. Profily u komořanského portálu dosahují maximálních poklesů do 20 mm. Profily u cholupického portálu dosahují poklesů do 10 mm. U ostatních, mezilehlých profilů je naměřeno sedání povrchu do 3 mm.

Další prováděná měření slouží všem účastníkům výstavby jednak pro vlastní kontrolu zatížení okolí stavbou, ale také jako podklad pro případné právní jednání se třetími fyzickými nebo právníckými osobami dotčenými stavbou tunelu. V našem případě se jedná o:

- měření nivelace na objektech SO 609-Nouzov;
- dynamická a akustická měření v objektech;
- hydrogeologický monitoring;
- geoelektrická korozní měření;
- kontrolní rozborů důlních vod a měření množství čerpaných důlních vod.

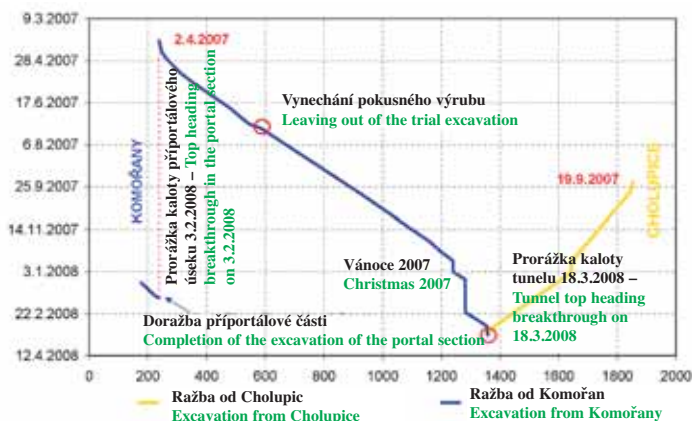
## SYSTÉM CUBULA

K dobré informovanosti všech účastníků výstavby a efektivnímu využívání naměřených hodnot a ostatních dat získaných prováděním geotechnického monitoringu slouží interaktivní databázový systém CUBULA provozovaný Sdružením Mott-geodet. Tento systém slouží pro ukládání, vyhodnocování měření a dokumentaci jednotlivých čleeb, stejně tak sdílení datových souborů.

Všechny informace jsou tak dostupné kompetentním pracovníkům „on line“. Systém pro svoji práci využívá webové rozhraní, dostupné prostřednictvím běžných webových prohlížečů (obr. 5). Na straně uživatele tak není potřeba provádět další instalace.

Vnitřní struktura systému je řešena pomocí jednotlivých databází (tj. schránek rozdělených podle příslušných témat), ve kterých jsou uloženy jednotlivé dokumenty a grafická data.

Dostupné soubory jsou dvojího druhu. Pevné soubory (situace, polohopis, projekt, letecké snímky atd.) jsou členěny do jednotlivých vrstev. Jejich zobrazení ovládá každý uživatel výběrem v příslušné záložce podle



Graf 1 Postup ražby kaloty třípruhového tunelu  
Chart 1 Excavation sequence at the top heading of the triple-lane tunnel

**Geodetic monitoring of the ground surface (levelling):** It is used for the determination of the response of the terrain surface above the tunnel to the excavation and for the verification of the exclusive zone (the zone affected by the excavation operations which is determined by the design). The results of the measurements are interpreted in the form of time-settlement curves and cross sections of the settlement trough. There are eight measurement profiles installed and measured in total. The maximum settlement values measured at the stations at the Komořany portal do not exceed 20mm. The settlement values at the Cholupice portal are less than 10mm. At the other stations, the measured surface settlement is up to 3mm.

The results of the other measurements which are conducted are used by all participants in the construction both for the checking of the construction induced loads acting on the surroundings and provide a base for contingent legal negotiations with third parties – physical persons or corporations – affected by the tunnel construction. In our case, the following measurements are conducted:

- levelling on the SO 609 Nouzov structures
- dynamic and acoustic measurements in buildings
- hydrogeological monitoring
- geoelectric corrosion measurements
- check analyses of mine water and measurement of the amount of mine water being pumped

## CUBULA SYSTEM

CUBULA, an interactive database system which is operated by the Sdružení Mott-Geodet consortium, serves as a source of information for all participants in the construction and as a tool allowing the effective use of the measured quantities and other data obtained during the geotechnical monitoring. This system is used for the storage and assessment of the measurements and documentation of individual headings, and allows the sharing of data files.

All information is thus available on line to all competent persons. The system uses a web interface for its work which is accessible by means of common web explorers (Fig. 5). Thus there is no need for the user to carry out other installations.

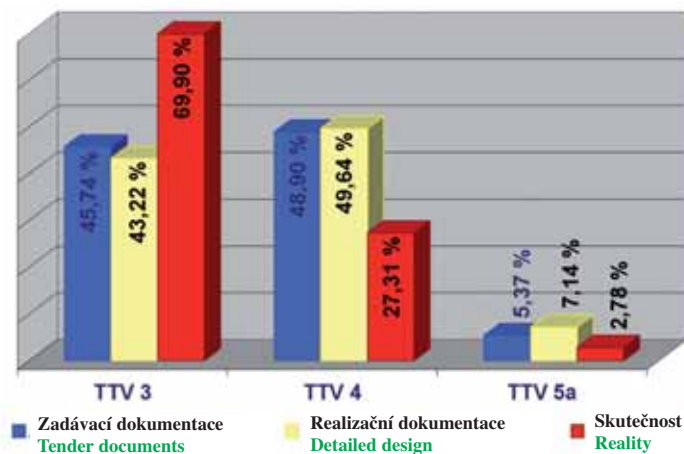
The internal structure of the system is solved by means of individual databases (i.e. boxes divided according to respective themes) which contain individual documents and graphical data.

There are two types of the accessible files. The permanent files (the layout, topographical plan, design, aerial photos etc.) are divided into individual storeys. Each user controls the imaging of the files by selecting in the particular book-mark according to his/her needs and requirements. These files are used as preliminary information source. They are prepared at the beginning of the construction (when the design is being carried out). Inserted files fulfil their information role. They contain concrete information on the measured values of various monitored quantities, documentation of individual headings etc.

The scope of the data to be displayed is defined within the framework of each project, according to client requirements (in this particular case the client/owner is the Directorate of Roads and Motorways of the Czech Republic). Owing to the system, the authorised user has always access to all available data on the particular project, throughout the whole scope of time. Thus there is no need for the user to distribute the data and ensure the complicated archiving of the data. The system stores the information about the person who inserted a particular document or updated it and records the time of the operation. The system is continually upgraded on the basis of the experience of its use, with the aim of achieving as good end-use properties as possible.

## WORKS PROGRESS

The commencement and initial speed of the construction was significantly affected by various external circumstances (the complementary exploration which was underway etc.). A long delay developed, most of all at the Komořany portal. In the effort to prevent a more serious delay, based on a joint proposal of the contractor and author of the detailed design, the uphill excavation started from a point of attack at chainage 238.1m, i.e. the location of the first completed passing bay in the exploration gallery (Fig. 6). The uphill excavation of the triple-lane tunnel from the Komořany



Graf 2 Rozdělení jednotlivých technologických tříd výrubu, předpoklad a skutečnost

Chart 2 Distribution of individual excavation support classes – assumptions and reality

svých potřeb a požadavků. Tyto soubory slouží jako orientační podklad. Jsou zpracovány při zahájení stavby (tvorbě projektu). Vkládané soubory plní svoji informační úlohu. Jsou v nich uloženy konkrétní informace o naměřených hodnotách různých monitorovaných veličin, dokumentace čelb jednotlivých ražeb atd.

Rozsah zobrazovaných dat je definován v rámci každého projektu podle požadavků zadavatele (v tomto případě Ředitelství silnic a dálnic České republiky). Využitím systému jsou pro oprávněného uživatele vždy přístupná veškerá dostupná data daného projektu v celém časovém rozsahu. Odpadá tak potřeba distribuce dat a jejich složitá archivace na straně uživatele. V systému jsou uloženy i informace o pracovníkovi, který příslušný dokument vložil nebo provedl jeho aktualizaci a o čase provedené operace. Na základě zkušeností s denním používáním je systém stále vylepšován tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepších uživatelských vlastností.

## POSTUP PRACÍ

Na zahájení a počáteční rychlost výstavby měly velký vliv různé vnější okolnosti (probíhající doprůzkum atd.). Velké zdržení vzniklo zejména na komořanském portále tunelu.

Ve snaze zabránit většímu zdržení byla 2. 4. 2007 na společný návrh zhotovitele a zpracovatele realizační dokumentace zahájena dovrchní ražba rozrážkou z první realizované výhybní průzkumné štoly v tunelometru TM 238,1 (obr. 6). Dvrchní ražba třípruhového tunelu od komořanského portálu tak pokračovala až do 12. 1. 2008. Odtěžování rubaniny a doprava materiálů probíhaly přístupovou štolou délky cca 250 m. Navzdory tomuto významnému omezení bylo dosahováno trvale dobrých výkonů. K akceleraci rychlosti ražby jižního tunelu došlo 19. 9. 2007 zahájením úpadní ražby z cholupického portálu.

Zatímco stavební jáma hloubených tunelů u Cholupic byla téměř dokončena před zahájením ražeb, komořanský portál byl hlouben během již probíhající ražby. Během hloubení byla postupně odhalována konstrukce přístupové štoly (obr. 7 a 8). Ražba třípruhového tunelu přímo od komořanského portálu byla zahájena po dokončení mikropilotového deštníku (obr. 9) 16. 1. 2008. Prorážka tunelu proběhla 18. 3. 2008. Po prorážce tunelu byla plným profilem dobírána lavice tunelu. Prorážka plného profilu proběhla 14. 5. 2008 (graf 1).

Dvoupruhový, severní tunel začal zhotovitel razit úpadně 23. 11. 2008. Dvrchní ražba byla zahájena 30. 11. 2008. Od zahájení ražby severního tunelu jsou ve velké míře využívány informace o chování horninového masivu získané během ražeb třípruhového tunelu, i když přítomnost již vyražené průzkumné štoly má velký dopad na chování otevřeného výrubu a stejně tak na rozpojitelnost masivu. K 30. 5. 2008 je v kalotě vyraženo 635 m od komořanského portálu a 675 m od portálu cholupického včetně obou odstavných zálivů. Dorazit zbývá 366 m. V době uveřejnění článku bude již kalota tunelu s velkou pravděpodobností proražena.

## VÝSLEDKY ZATŘÍDĚNÍ VÝRUBU A MONITORINGU

Ražba tunelů probíhá od počátku ve skalních horninách ordoviku, resp. proterozoika. Masiv je tektonicky porušen, jednotlivé fragmenty horniny jsou však pevné, pevnosti odpovídají třídám R2 a R3. Diskontinuity jsou



Obr. 7 Odhalená přístupová štola v ose třípruhového tunelu

Fig. 7 The exposed access adit on the axis of the triple-lane tunnel

portal continued till 12.1.2008. The muck was removed and materials were transported through an about 250m long access adit. Permanently good outputs were achieved despite this significant restriction. The advance of the excavation of the southern tunnel was accelerated on 19.9.2007, when the downhill excavation from the Cholupice portal started.

Whereas the construction trench for the cut and cover tunnels on the Cholupice side had been nearly completed before the commencement of the tunnel excavation, the trench at the Komořany portal was dug later, during the course of the tunnel excavation. The access adit lining structure was gradually exposed during the digging (Figures 7 and 8). The excavation of the triple-lane tunnel directly from the Komořany portal started on 16.1.2008, after the completion of the canopy tube pre-support (Fig. 9). The tunnel breakthrough took place on 18.3.2008. After the breakthrough, the full-face excavation of the bench was carried out. The full-profile breakthrough took place on 14.5.2008 (Chart 1).

The contractor started to drive the double-lane northern tunnel on a down gradient on 23.11.2008. The uphill excavation started on 30.11.2008. Since the commencement of the excavation of the northern tunnel, the information about the rock mass behaviour which had been obtained during the excavation of the triple-lane tunnel has been exploited to a large extent despite the fact that the presence of the previously excavated exploration gallery significantly affects the behaviour of the opened excavation and the breaking characteristic of the rock mass. As of 30.5.2008, 635m of the top heading excavation from the Komořany portal and 675m from the Cholupice portal were finished, including both lay-bys. A length of 366m of the excavation remains to be completed. At the time of the publication of this paper, the tunnel top heading breakthrough is highly likely to have been completed.

## RESULTS OF THE EXCAVATION SUPPORT CLASSIFICATION AND MONITORING

The excavation of the tunnels has been passing through Ordovician or Proterozoic rocks since the beginning. The massif is faulted but individual fragments of the rock mass are sound, with the strengths corresponding to classes R2 and R3. Discontinuities are mostly closed, without any clayey fill. The shear strength is reduced at the discontinuities only exceptionally. The encountered rock mass behaves as a brittle material. The rock mass deforms only to a minimum extent. Excavation stability problems are limited to local structural manifestations of instability, mostly up to 1m<sup>3</sup>. The consistent use of the information provided by the geotechnical monitoring and daily observation of individual headings and the use of the information obtained during the previous excavation renders a sensitive response to the encountered geotechnical conditions possible. We present a comparison of the anticipated classification specified in the tender documents and the detailed design with reality in Chart 2.



Obr. 8 Postupné bourání ostění přístupové štoly  
Fig. 8 Gradual demolition of the lining of the access adit

převážně sevřené, bez jílovité výplně. K poklesu smykové pevnosti na diskontinuitách dochází pouze výjimečně. Zastížená hornina se chová jako křehký materiál. Horninový masiv se minimálně deformuje. Problémy se stabilitou výrubu se omezují na lokální strukturální projevy nestability, převážně do 1 m<sup>3</sup>. Důsledné využívání informací geotechnického monitoringu a denního pozorování jednotlivých čelb tunelu a využívání informací z předchozích ražeb umožňují citlivě reagovat na zaslíbené naměřené kubatury technickým dozorem investora. Porovnání předpokládaného zatřídění výrubu tunelu v zadávací dokumentaci, dokumentaci realizační se skutečností uvádíme v grafu 2.

Během vlastní ražby prakticky nedochází zaviněným nadvýlomům. Příznivý dopad na uplatňování nároků má přesné definování hranic pro jednotlivé typy nadvýlomů a jejich snadné odměření a posouzení. Pro uplatnění nároku je vyžadováno zdokumentování geologem stavby a odsouhlasení naměřených kubatur technickým dozorem investora.

Na základě doporučení denní schůzky ražeb nebyl dodavatelem přestrojován pokusný výrub kaloty realizovaný v průzkumné štole.

## ZÁVĚR

Používaný systém řízení ražeb tunelů předpokládá a umožňuje efektivní spolupráci odpovědných a odborně kompetentních pracovníků zadavatele a zhotovitele v těsné spolupráci s důsledně prováděným geomonitorem. V konkrétních podmínkách ražby tunelů stavby 513 SOKP se systém osvědčuje.

Důsledné zařídování výrubu do technologických tříd výrubu je optimalizováno množstvím zabudovaných výstrojných prostředků. Systém usnadňuje aplikaci mimořádných či doplňkových opatření. Jako příklad může sloužit systémové zvýšení počtu svorníků v oblastech tunelových propojek.

Pracovníci obou firem podílejících se na ražbách tunelů (Skanska BS, Subterra) přijali během krátké doby denní schůzky ražeb jako nedílnou a pozitivní součást rozhodovacích procesů o dalším postupu.

Na všech čelbách je dosahováno velmi dobrých výkonů i kvalita prováděných prací je dobrá.

Vyražená průzkumná štola zlepšila stabilitu čelby i výrubu třípruhového tunelu a zajistila průběžné větrání jižní tunelové roury.

ING. PETR SVOBODA, [svoboda@d2-consult.cz](mailto:svoboda@d2-consult.cz),  
D2 CONSULT PRAGUE, s. r. o.,  
ING. IGOR ZEMÁNEK, [igor.zemanek@mottmac.cz](mailto:igor.zemanek@mottmac.cz),  
MOTT MACDONALD s. r. o.

Recenzoval: Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.



Obr. 9 Vrtání a osazování mikropilotového deštníku na komořanském portálu třípruhového tunelu

Fig. 9 Drilling and installation of the canopy tube pre-support at the Komořany portal of the triple-lane tunnel

Avoidable overbreaks virtually have not occurred during the excavation itself. The accurate definition of the limits for individual types of overbreaks and the easy method for their measurement and assessment have a favourable impact on the calculation and submission of claims. The documentation of the overbreak by a site geologist and confirmation of the measured volumes by client's supervision engineer is a condition for the submission of a claim.

On the basis of a recommendation of the Daily Excavation Meeting, the contractor did not replace the support of the trial top heading excavation which had been carried out in the exploration gallery.

## CONCLUSION

The tunnel excavation control system which is being used assumes and enables effective collaboration among responsible and professionally competent employees of the client and contractor, in close cooperation with the consistently performed geomonitring. In the particular conditions of the excavation of tunnels of the PCR construction lot 513, the system has acquitted itself.

Owing to the consistent determination of the excavation support classes, the amount of support elements which are installed is duly optimised. The system facilitates the application of extraordinary or supplementary measures. The systematic increase in the number of rock bolts in the areas of cross passages can be used as an example.

Employees of the companies participating in the construction of the tunnels (Skanska BS, Subterra) accepted the Daily Excavation Meetings as an inseparable and positive part of the decision-making processes dealing with the further procedure.

Very good outputs are achieved at all headings and even the quality of the works is good. The completed exploration gallery improved the stability of the excavation face and the excavated opening of the triple-lane tunnel and allowed the continuous ventilation of the southern tunnel tube.

ING. PETR SVOBODA, [svoboda@d2-consult.cz](mailto:svoboda@d2-consult.cz),  
D2 CONSULT PRAGUE, s. r. o.,  
ING. IGOR ZEMÁNEK, [igor.zemanek@mottmac.cz](mailto:igor.zemanek@mottmac.cz),  
MOTT MACDONALD s. r. o.

## LITERATURA / REFERENCES

- Srb, Martin. SOKP 514, Tunel Lochkov, nový model zadávacích podmínek pro výstavbu tunelů a zkušenosti z provádění průzkumné štoly pro ražby plných profilů. *Tunel*, 2008, roč. 17, č. 2, s. 19-25. ISSN 1211-0728
- RDS SO 603.01 Ražený tunel třípruhový (JTT), ražba a primární ostění – IKP Consulting Engineers, březen 2007
- RDS SO 602.01 Ražený tunel dvoupruhový (STT), ražba a primární ostění – IKP Consulting Engineers, říjen 2007
- ZVS Silniční okruh kolem Prahy, stavba 513 Vestec – Lahovice – Pragoprojekt a. s., březen 2005