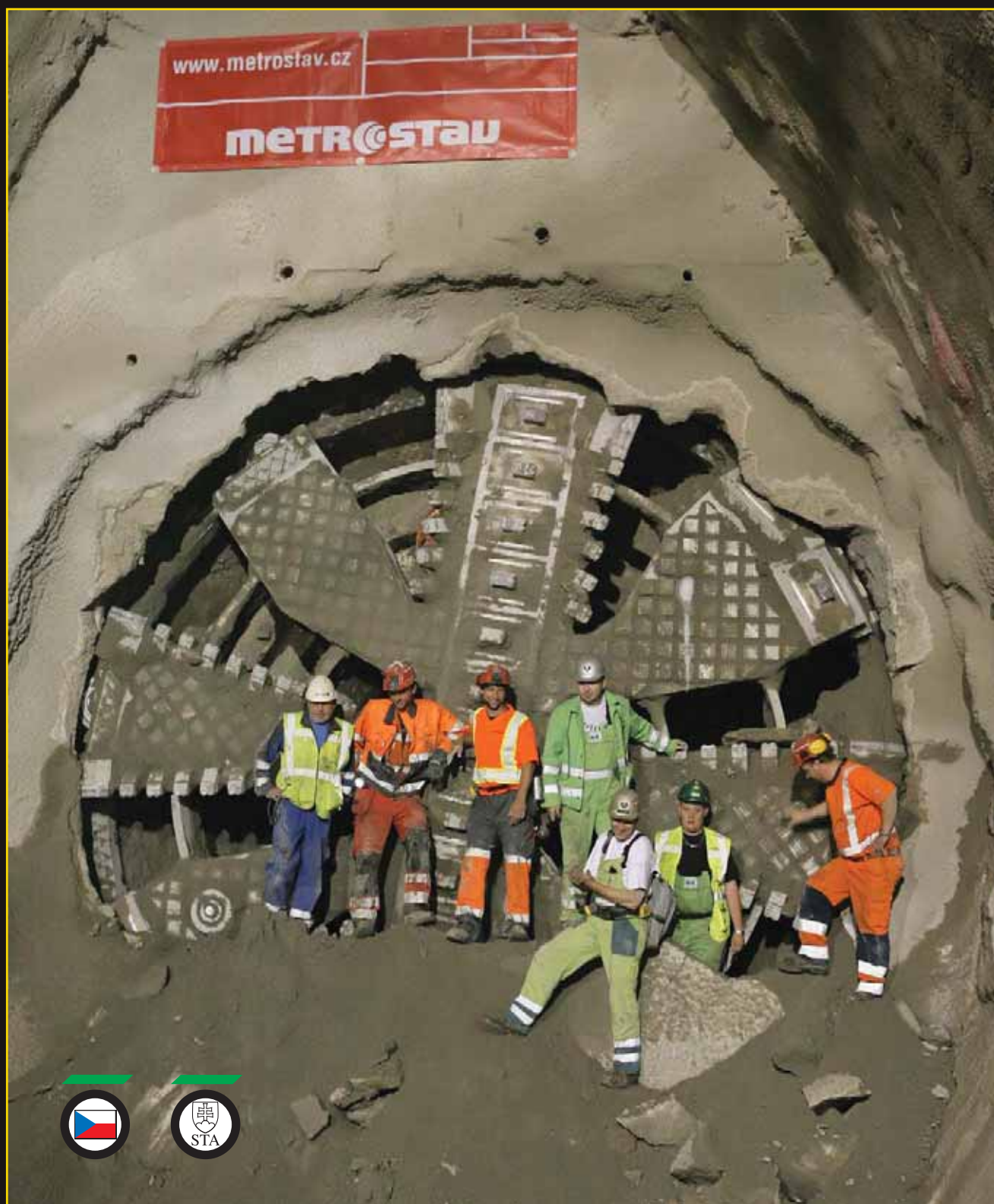


TUNEL

č. 3
2011

ČASOPIS ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION





Vážení čtenáři časopisu TUNEL!

Články publikované v tomto čísle charakterizují několik nových zajímavých trendů v českém a slovenském podzemním stavitelství, na které bych rád poukázal.

Hned ve čtyřech článcích se píše o stavbách v hlavním městě Praze, které představuje významného investora i v době, kdy se státní i soukromé investiční aktivity značně snížily. A dobrým příslibem do budoucnosti je i to, že díky koncepčnímu postoji orgánů hlavního města i Dopravního podniku hlavního města Prahy by rozvoj metra měl dále pokračovat.

Název článku o realizaci novostavby železničního tunelu na Slovensku připomíná další potěšitelný fakt, že po padesátileté přestávce se v krásné a členité slovenské krajině budou zase budovat železniční tunely. Trasování koridorů na vyšší rychlosti se bez nich neobejde.

Články o plnoprofilových tunelovacích strojích odrážejí dnešní dobu, dobu dokonalých, sofistikovaných technických výrobků, k nimž stroje pro stavbu tunelů určitě patří. Díky nim jsou ražby tunelů tak bezpečné, že by nemělo docházet k poškozování budov na povrchu území poklesy nebo k propadům terénu.

I další články v tomto čísle jsou velmi poutavé a nabízejí originální, ještě nepublikovaný, pohled na různá témata a slibují příjemné čtení třeba u šálku kávy.

Číslo je věnováno dvěma významným firmám. Metrostav, a. s., který je jistě vedoucí stavební společností v oblasti podzemních staveb v České republice, letos oslavuje velmi pěkné 40. výročí svého založení. To bylo spjato se zahájením výstavby pražského metra. Ve Slovenské republice slaví šedesáté výročí vzniku Skanska SK a. s., jejíž právní předchůdce, Banské stavby, byl založen v roce 1951 a od roku 1957 sídlí v Prievidzi.

Oběma společnostem přejeme do dalších let mnoho úspěchů.

*Ing. Otakar Hasík,
člen redakční rady časopisu Tunel*

Dear readers of TUNEL journal!

The articles published in this journal issue characterise several interesting trends in the Czech and Slovak underground construction industry I would like to point out.

As many as four of the articles deal with construction projects in Prague, the Czech capital, which has remained an important client for contractors even at the time during which both state and private investment expenditures have been significantly reduced. Another good promise for the future is the fact that, owing to the conceptual attitude of the capital authorities and Prague Public Transit Company, the metro system should continue to expand.

The title of the paper on the construction of a new tunnel in Slovakia reminds us of another important fact that, after a fifty-year break, railway tunnels will again be constructed in the beautiful, dissected Slovak landscape. Designers accommodating alignments of corridors to higher speeds cannot cope without them.

The papers on full-face tunnelling machines reflect the current period, characterised by perfect, sophisticated technical products, among which tunnel construction machines certainly belong. Thanks to them, driving of tunnels is so safe that no damage should be caused to existing buildings by the subsidence or sinking of the ground surface.

Even the other papers contained in this issue are very catching, offering original, till now unpublished, views of problems and promising pleasant reading, possibly over a cup of coffee.

This issue is dedicated to two important firms. This year, Metrostav a. s., which is undoubtedly a leading contractor in the area of underground construction in the Czech Republic, has been celebrating the nice 40th anniversary of its foundation, which was associated with the commencement of the construction of the Prague metro. In the Slovak Republic, Skanska SK a.s., the predecessor in title of which, Banské Stavby, was founded in 1951 and has had its seat in Prievidza since 1957, celebrates the 60th anniversary of its origination.

We wish both companies lots of success in the years to come.

*Ing. Otakar Hasík,
Member of TUNEL Editorial Board*





VÁŽENÍ ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

v letošním roce slaví společnost Metrostav 40 let své existence na českém, potažmo česko-slovenském stavebním trhu. Proto jsem s potěšením přivítal možnost přiblížit historii i současnost Metrostavu na stránkách tohoto renomovaného specializovaného periodika, i když jsem si vědom, že odborníci o nás dobře vědí a pro mnohé z nich jen zopakují známé skutečnosti.

Jak je zřejmé z názvu firmy, původně byla založena cíleně pro výstavbu pražského metra. Od svého vzniku v roce 1971 se v průběhu let přeměnila v univerzální stavební společnost, schopnou uskutečňovat náročné projekty veřejných i soukromých investorů doma a v poslední době stále více i v zahraničí. Tento posun je zřetelný především v posledních dvou desetiletích.

V historii firmy Metrostav se odrážejí i dějiny moderního českého tunelářství. Metrostav se aktivně účastnil založení Československého tunelářského komitétu, organizace, jež vznikla v roce 1982 z iniciativy podniků zúčastněných na výstavbě metra v Praze. Hlavním motorem a organizátorem tohoto procesu byl Ing. Jaroslav Grán, vedoucí technického odboru a později náměstek ředitele Metrostavu. Jeho zásluhou došlo též k navázání prvních kontaktů s podzemním stavitelstvím v zahraničí. I proto byl nominován na držitele „Čestné medaile“ in memoriam. Po vzniku samostatné České republiky se naše tunelářská organizace přejmenovala na Českou tunelářskou asociaci a jejími vůdčími osobnostmi jsou vždy čelní představitelé naší společnosti – nejdříve Ing. Jindřich Hess a nyní Ing. Ivan Hrdina.

Inženýr Grán by jistě ocenil i to, že v dubnu 2011 byly zahájeny ražby tratových tunelů metra trasy VA metodou TBM. Metrostav ražbu tunelů metra pomocí štítů mechanizovaných i nemechanizovaných prováděl již od počátku výstavby pražského metra. Předchůdce dnešního supermoderního TBM-EPB, mechanizovaný štít TŠČB-1 o průměru 5,80 m ruské výroby, razil tratové tunely pod Vltavou na trase A mezi Klárovem a Staroměstskou a také tratový úsek na trase IB mezi Můstkem a Florencí. Specialitou těchto strojních ražeb bylo zhotovení definitivní obzdvíčky na principu čerpaného betonu do posuvného bednění pod pracovním tlakem pressbeton.

Jak jsem se již zmínil, dva o několik generací kvalitativně výše vybavené plno-profilové razičí štíty EPB se aktuálně podílejí na prodloužení metra z Dejvic do Motola. Jejich nasazení umožňuje zejména maximalizovat výkon a přitom minimalizovat riziko. Další neméně důležitou výhodou je možnost porovnávat se v těchto dovednostech se zahraniční konkurencí, a to na vhodně zvolených projektech doma i v cizině.

Metrostav ale zvládá i jiné tunelovací technologie. Prvky Nové rakouské tunelovací metody (NRTM) byly u nás prvně využity na přelomu osmdesátých a devadesátých let rovněž při výstavbě pražského metra, a to na trase IVB, částečně při výstavbě stanic Vysočanská a Hloubětín, při výstavbě tratových tunelů Kolbenova – Hloubětín a zejména při ražbě prvního dvoukolejného tunelu metra v úseku Hloubětín – Rajská zahrada.

Od té doby bylo touto metodou dokončeno mnoho tunelových staveb v ČR, jako jsou tunely na dalších trasách metra IVC1 a IVC2, včetně první jednodílné stanice Kobylisy, silniční a dálniční tunely Hřebeč, Panenská, Libouchec, Valík, Klimkovic, železniční tunely Mlčechovosty, Krasíkovské a Hněvkovské tunely, nejdelší železniční tunel v ČR Březenský, tunely pražského Nového spojení, městský tunel Mrázovka a další. Rada dopravních tunelů a staveb, jako například tunely Radejčín, Prackovice a další, se nyní ještě buduje.

Za zmínku rozhodně stojí také aktivity vyvíjené Metrostavem v zahraničí. Ať už je to podíl na výstavbě tunelu Euerwang v Německu, stavba tunelu Lučica v Chorvatsku, loni dokončené islandské tunely s úctyhodnou délkou 3,9 a 7,1 km, či v současné době ražené tunely pro helsinské metro ve Finsku.

Co říci na závěr: Postavit takové množství tunelů a podzemních staveb se dá jedinečně s silnými a odborně vybavenými týmy. Ty jsou nejen v samotném Metrostavu, ale též u kooperujících organizací projekčních, konzultačních, investorských a dodavatelských.

Když se porozhlédneme po výstavbě evropských tunelů, zjistíme, že na mnohých z nich po roce 1990 zůstala česká či slovenská stopa. Ať už v účasti jednotlivců, techniků, specialistů, razičů, nebo v účasti českých či slovenských firem na výstavbě v pozici nejprve subdodavatelů, ale v poslední době i třeba partnerů nebo lídrů ve sdruženích.

Češi a Slováci v této profesi za posledních 20 let vyrostli a zdokonalili se. A proto je můžeme potkávat i na mnohých tunelových projektech v Evropě a ve světě. A to je nejen potěšující, ale i přínosné pro další rozvoj tunelářiny v naší zemi.

ING. PAVEL PILÁT

**generální ředitel Metrostav, a. s.
General Director Metrostav a. s.**

DEAR READERS OF TUNEL JOURNAL,

This year, Metrostav company celebrates the 40 years of its presence on the Czech or Czech-Slovak construction market. This is why I welcomed with pleasure the opportunity to give you an idea of the history and presence of Metrostav on the pages of this renowned specialised periodical, despite the fact that I know that we are well known to professionals and I will only repeat facts which are well known to them.

As it is obvious from our company name, it was originally founded with the aim of constructing the Prague metro. Since its origination in 1971, during the course of years, it has transformed itself into a universal construction company, which is capable of implementing challenging projects for both public and private clients at home and, of late, ever more abroad. This shift has been obvious first of all during the past two decades.

The history of Metrostav even reflects the history of the Czech tunnel construction industry. Metrostav actively participated in the foundation of the Czechoslovak Tunnelling Committee, an organisation which originated in 1982 on the basis of an initiative of companies involved in the construction of metro in Prague. The main source of the driving force and main organiser was Ing. Jaroslav Grán, the head of the department of technology and, later, a deputy director of Metrostav. He deserves the credit for establishing initial relationships with the underground construction industry abroad. It was one of the reasons why he was nominated as the holder of the Medal of Honour in memoriam. After the origination of the independent Czech Republic, our tunnelling organisation was renamed the Czech Tunnelling Association. The masterminds of the association have always been prominent representatives of our company – first of them was Ing. Jindřich Hess and today it is Ing. Ivan Hrdina.

Jaroslav Grán would certainly have appreciated even the fact that April 2011 saw the commencement of the excavation of running tunnels for Metro Line VA using full-face tunnelling machines. Metrostav drove tunnels using both mechanised and non-mechanised shields from the beginning of the Prague metro construction. The predecessor of today's state-of-the-art EPB shields was the 5.80 m diameter TŠČB-1 mechanised shield manufactured in the Soviet Union. It drove running tunnels under the Vltava on the Line A between Klárov and Staroměstská Station, as well as the track section on the Line IB between Můstek and Florenc. A special feature of these mechanical drives was that the final lining was cast using concrete pumped behind a slip form, with the working name "compressed concrete".

As I have mentioned above, two EPB shields, the equipment of which is, in terms of quality, several generations higher, which are currently participating in the metro extension from Dejvice to Motol. The deployment of the shields makes first of all maximising of the performance possible while minimising the risks. Another not less important advantage is the possibility of comparing the skills with foreign competitors on properly selected projects at home and abroad.

Metrostav has even mastered other tunnelling techniques. Elements of the New Austrian Tunnelling Method (the NATM) were applied by our company for the first time at the end of the 1980s, also to the construction of the Prague metro, the Line IVB and partly to the construction of Vysočanská and Hloubětín stations, running tunnels between Kolbenova and Hloubětín stations and, first of all, the Hloubětín – Rajská Zahrada section, which was the first double-track metro tunnel built in Prague.

Since then, many tunnel structures have been completed in the CR using the NATM, such as tunnels on subsequent metro lines IVC1 and IVC2 (including Kobylisy single-span station), road and motorway tunnels Hřebeč, Panenská, Libouchec, Valík, Klimkovic; railway tunnels Mlčechovosty, Krasíkov I and II and Hněvkov I and II; the Břežno tunnel - the longest rail tunnel in the CR; the New Connection tunnels in Prague, the Mrázovka urban tunnel etc. Many transport-related tunnels and structures, e.g. the Radejčín, Prackovice and others, are still under construction.

Definitely worth mentioning are also activities performed by Metrostav abroad, namely on the construction of the Euerwang tunnel in Germany, the Lučica tunnel in Croatia, tunnels in Iceland with the respectable lengths of 3.9 and 7.1 km or mined tunnels for the Helsinki metro, Finland.

What to say in conclusion? Constructing such a number of tunnels and underground structures is possible only if strong and technically competent teams are available. Such the teams are employed not only by Metrostav itself but also by cooperating organisations - designers, consultants, clients and other contractors.

If we look around the construction of European tunnels, we will find out that a Czech or Slovak trace has remained on many of them after 1990. It has the form of the participation of individuals, technicians, specialists, miners or collaboration of Czech or Slovak companies on the construction in the beginning in the position of sub-contractors, but later even as members or even leaders of consortia.

Czechs and Slovaks have grown up and became better in this profession during the past 20 years. For that reason we can even meet them at many tunnel construction projects in Europe and in the world. This fact is not only heart-warming but also beneficial for the future development of the tunnel construction industry in our country.



VÁŽENÍ ČITATELIA ČASOPISU TUNEL,

Banské stavby, ako právny predchodca firmy Skanska, oslavujú tento rok 60. výročie svojho vzniku. V roku 2003 sa firma rozhodla vydať na spoločnú cestu pod vlajkou nadnárodného koncernu Skanska, ktorý už budúci rok oslavuje neuveriteľných 125 rokov od svojho založenia.

Firma Skanska, vznikla v roku 1887 vo Švédsku, ktorú založil R. F. Berg a dal jej názov Skanska Cementgjuteriet s cieľom vyrábať cement, betón a realizovať betónové konštrukcie. Toto obdobie je poznačené významnou a v stavebníctve revolučnou zmenou, a to použitím železobetónu v stavebných konštrukciách.

Už po desiatich rokoch od svojho vzniku firma začala postupne prenikať do zahraničia a pre svoje veľké ambície expandovala postupne do celej Škandinávie. Ďalší veľký rozmach zaznamenala v 50. rokoch, keď prenikla postupne na trhy iných kontinentov: Južná Amerika, Afrika, Ázia a následne v roku 1971 aj na trh USA. Ďalšou vlnou expanzie spoločnosti boli 90. roky minulého storočia – expanzia v Európe, ktorá zasiahla mimo iné aj trh Česka a Slovenska. Firma sa takto postupne stala svetovým lídrom na stavebnom trhu, jednak ako jedna z 3 najväčších stavebných korporácií na svete, ale súčasne aj ako jeden z významných developerov, čo sa týka komerčných, rezidenčných a infraštrukturálnych projektov. Tolko stručne o histórii Skanska.

Vráťme sa ešte na chvíľu na koniec 19. storočia, a to konkrétne do roku 1884, keď v Bratislave, v tom čase v Pressburgu, ktorý bol súčasťou rakúsko-uhorskej monarchie, zakladajú gróf Adolf von Pittel a stavebný inžinier Viktor Brausewetter firmu Betónové stavby. Firma sa v tých rokoch zaoberala stávaním veľkých výrobných závodov a hál, budovaním kanalizácií vo veľkých aglomeráciách, neskôr výstavbou elektrární, priehrad, mostov, ale aj pozemných komunikácií. Neskôr firma presťahovala svoje sídlo do Viedne, zmenila názov na Pittel und Brausewetter a postupne expandovala prostredníctvom svojich pobočiek po celej monarchii, a teda aj na územie terajšieho Česka a Slovenska. Po 2. svetovej vojne nová komunistická moc znárodnila všetky súkromné spoločnosti, vrátane závodu firmy Pittel und Brausewetter so sídlom pobočky v Moste. Následne bolo sídlo presunuté do Ostravy a zmenený názov na Důlní stavby Ostrava. O štyri roky neskôr vznikol Závod Slovensko v Banskej Bystrici a už chýbal len malý krôčik k historickému medzníku z pohľadu našej firmy. V roku 1951 bol závod osamostatnený a na jeho základe vznikla firma Banské stavby, n. p., ktorá od roku 1957 sídli v Prievidzi.

Podnik rástol a expandoval a v roku 1989 zamestnával viac ako 4000 pracovníkov. Definitívne sa tak zaradil do rodiny najvýznamnejších stavebných firiem na Slovensku (v tom čase Hydrostav, Váhostav, Doprastav).

Ďalší, tzv. porevolučný vývoj po roku 1989, už bol opísaný v jednom z minulých čísel (3/2006) časopisu Tunel. Toto obdobie sa vyznačovalo hlavne recesiou v ťažobnom priemysle a hľadaním nových príležitostí na trhu.

Prečo tento podrobný opis histórie oboch firiem? Vždy, keď hľadáme do budúcnosti, nesmieme zabúdať na minulosť, z ktorej sa dá vždy poučiť a inšpirovať. Uvedomme si, že obidve firmy prežili viac ako sto rokov. A treba zdôrazniť, že tých viac ako sto rokov bolo poznačených takými udalosťami ako prvá svetová vojna, veľká hospodárska kríza v tridsiatych rokoch, druhá svetová vojna, a nás nástup komunizmu a znárodnenie súkromných spoločností. Po ďalších štyridsiatich rokoch nasledovala privatizácia a počas celej histórie firiem mnoho iných dôležitých, ale aj kritických udalostí, vplývajúcich negatívne na hospodárenie podnikateľských subjektov. Napriek tomu obe firmy prežili a z každej krízy vyšli ešte viac odolnejšie a silnejšie. Tento odkaz minulosti je pre nás poučný a inšpiratívny, a čo je dôležité, dodáva nám dnes tak potrebný optimizmus.

Preto som oprávnený veriť, že aj v tejto súčasnej nelichotivej situácii na stavebnom trhu, firma Skanska prežije a následne bude schopná zvládnuť nové výzvy, ktoré ďalší vývoj a sám život priniesie. Samozrejme toto prajem nielen firme Skanska, ale všetkým, ktorí sú na tomto trhu a dokážu svojimi znalosťami a svojou činnosťou prispieť k rozvoju podzemného stavebníctva

Česká republika je obkolesená pohoriami, Slovensko má priamo vo svojom srdci najväčšie pohorie Západných Karpát. Spoločne sme tak odsúdení na riešenia, ktoré sa väčšinou nedajú inak realizovať ako v podzemí.

Úlohou nás všetkých, ktorí sa zaoberáme podzemným stavebníctvom, ktoré máme radi a dobre sa v ňom cítíme, je presvedčiť nielen samých seba, ale aj našich spoluobčanov o tom, že naše diela sú nielen výnimočné a obdivuhodné, ale sú pre ľudí prospešné, zároveň ekologické a sú pre nás všetkých nepostrádateľné. Mój príhovor k vám, milí čitatelia, ukončím v duchu sloganu Slovenskej tunelárskej asociácie: „Tunely sú potrebné!“

Zdar Boh!

ING. PETER WITKOVSKÝ

člen predstavenstva a riaditeľ Závodu Tunely SK, Skanska SK a.s.
Member of the Board and Director of Tunely SK Plant of Skanska SK a.s.

DEAR READERS OF TUNEL JOURNAL,

This year, Banské stavby, a. s., as a Skanska predecessor in line, celebrates the 60th anniversary of its origination. In 2003, the company decided that it would set out for a joint path under the flag of the Skanska supranational concern, which will celebrate astounding 125 years of its existence next year.

Skanska was founded in 1887 in Sweden by R.F.Berg, who named it Skanska Cementgjuteriet. The company aim was producing cement, concrete and carrying out large concrete structures. This period is distinguished by an important change, which was revolutionary in civil engineering: using reinforced concrete for building structures.

As early as ten years after its foundation, the company gradually started to spread its activities abroad. With its great ambitions it gradually expanded throughout Scandinavia. It achieved other great development in the 1950s, during which it gradually penetrated markets on other continents: Southern America, Asia and, subsequently in 1971, even the USA. Another wave of the company expansion was the 1990s. Its expansion in Europe affected, among other countries, even the Czech and Slovak markets. In this way the company has gradually become world's leader on the civil engineering market, both as one of the three world's largest civil engineering corporations and also as one of the most important developers in the field of commercial, residential and infrastructural projects. This introduction was a brief summary of Skanska history.

Let me get back for a while to the end of the 19th century, concretely to 1884, in which Count Adolf von Pittel and a building engineer Viktor Brausewetter founded Concrete Structures firm in Bratislava, then Pressburg, which was part of the Austro-Hungarian monarchy. At that time the firm was involved in constructing big manufacturing plants and factory buildings, developing sewerage systems in large agglomerations, later in building power plants, dams, bridges and also roads. Later the firm moved its seat to Wien, changed its name to Pittel und Brausewetter and gradually expanded through its branches all over the monarchy, including today's Czechia and Slovakia. After World War II, the new communist power nationalised all private companies, including the Pittel und Brausewetter plant with a branch in the town of Most. Subsequently, the seat was moved to Ostrava and its name was changed to Důlní stavby Ostrava (Constructions for Mines). Four years later a branch was established in Banská Bystrica, Slovakia and only a small step remained to the, from our company's viewpoint, historic milestone. In 1951 the branch was given independence and became the base for the origination of Banské Stavby, a national enterprise having its seat in Prievidza from 1957.

The enterprise grew and expanded; in 1989 it was employing over 4,000 workers. Thus it definitively ranked among the most important construction companies in Slovakia (at that time Hydrostav, Váhostav, Doprastav).

The next post-revolution development after 1989 was described in previous Tunel journal issues (3/2006). This period of time was distinguished first of all by a recession within the mining industry and by seeking new market opportunities.

Why have I presented this detailed description of the history of the two companies? Whenever we are looking into the future, we must not forget the past, from which it is always possible to learn lessons and get inspired. Let us become aware of the fact that both companies have survived over one hundred years. In addition, it is necessary to put stress on the fact that this period exceeding 100 years was marked by such events as World War I, the Great Depression in the 1930s, World War II and, in our country, the start of the communist power and nationalisation of private companies. After other forty years, privatisation and many other important, but also critical, events negatively affecting the economy of enterprising subjects followed in the history of the two firms. Yet the two companies have survived and emerged from each crisis even more resistant and stronger. This legacy of the past is illuminating and inspiring for us and, what is important, endows us with optimism, which is so necessary today.

This is why I have the right to believe that Skanska will survive even this currently difficult situation on the construction market and later will be capable of coping with new challenges brought in by the next development and the life. Of course, I am wishing this not only to Skanska but to all of those who are present at the market and are able to contribute through their activities to the development of the underground construction industry.

The Czech Republic is surrounded by mountain ranges and Slovakia has the highest mountain range, the Western Carpathians, directly in its heart. Both countries are therefore predestined to use solutions which mostly cannot be realised in another way than underground.

The task for all of us who are involved in underground construction, which we love and feel well in, is to convince not only our self but also fellow citizens that our workings are not only exceptional and admirable but also beneficial for people, ecological and indispensable for all of us. I will conclude my speech to you, dear readers, in the spirit of a slogan of the Slovak Tunnelling Association: "Tunnels are necessary!"

God speed you!

TECHNOLOGIE RAŽBY ZEMINOVÝMI ŠTÍTY JEDNOKOLEJNÝCH TUNELŮ METRA VA

DRIVING SINGLE-TRACK TUNNELS OF PRAGUE METRO VA LINE BY EARTH PRESSURE BALANCE SHIELDS

DAVID CYROŮ, PETR HYBSKÝ, ŠTEFAN IVOR, JAN PRAJER, FILIP SCHIFFAUER, OTAKAR HASÍK

ÚVOD

Nasazení moderních plnoprofilových tunelovacích strojů (technologie EPBS – zeminové štíty) na prodloužení trasy Metra VA z Dejvic do Motola se stává skutečností. Nastalo tak období nabývání praktických zkušeností a také doba vhodná pro zveřejnění konkrétních postupů a činností souvisejících s technologií EPBS při ražbě jednokolejných tunelů. Na úvod však je třeba uvést, že technologie EPBS je technologií komplexní a velmi obsáhlou, a tak by každá jednotlivá část použité technologie ražby jednokolejných tunelů metra vydala na samostatný článek. Tento příspěvek do časopisu Tunel je zpracován několika autory, kteří jsou členy projektového týmu Metrostavu, a. s., na výše uvedeném úseku stavby metra a také projektantem Metroprojekt Praha, a. s. Cílem článku je elementární popis vybraných technologických zařízení i navazujících operací při ražbě zeminovými štíty (EPBS), tj. zejména uvedení nejdůležitějších parametrů štítu, popis logistického řešení dopravy za štítem, stavby segmentového ostění i aplikace výplňové injektáže za ostěním a také výběr tunelovacího stroje.

POUŽITÍ PLNOPROFÍLOVÉHO TUNELOVACÍHO STROJE Z HLEDISKA PROJEKTANTA

Pro realizaci dopravních tunelů konvenčním tunelováním jsou jistě nesporné důvody, protože doposud byly v ČR všechny tyto tunely konvenčně vyraženy. Nicméně nutno říct, že bylo dosaženo několika limitů, které již nelze překročit.

Při ražení tunelů metra v zeminách byly poklesy větší než 2 cm i při použití svislého členění a dalších opatření. Podle metody ztráty objemu to odpovídalo ztrátě objemu 1,5 %. Výpočetní metoda obsahuje parametry stanovené na základě zkušeností a ty říkají, že pokud požadujeme ztrátu objemu okolo 1 % nebo menší, je možné toho dosáhnout jen ražbou plnoprofilovým tunelovacím strojem.

Dalším limitem je, že ražba NRTM je svou podstatou ražba s otevřenou čelbou, tedy je zde na čelbě třeba i více než hodinu obnažená hornina nebo zemina. V tom případě nelze zcela vyloučit vyjetí horniny do výrubu nebo zával.

Naopak ražba v pevných horninách vyžaduje rozpojování za pomoci trhacích prací. V obydleném území je často obtížné s účastníky a následně s báňským úřadem projednat povolení trhacích prací, je nutno postupovat při omezených trhacích pracích nebo jen skalním bagrem.

Bylo nasnadě, že se všemi těmito limity se bude nutno potýkat i v projektu prodloužení metra VA. Problémy jsou zde ještě umocněny ražbou pod zástavbou. Přitom členění výrubu a další opatření zase omezuje denní postup a celkový harmonogram výstavby.

Pokud se podíváme na obdobné stavby v podobných podmínkách v zahraničí, jsou nejčastěji raženy pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje. Jako příklad s některými parametry uvedme stavbu metra ve Vancouveru, kde při ražbě zeminovým štítem byly poklesy na povrchu do 5 mm, podcházely se

INTRODUCTION

The deployment of modern full-face tunnelling machines on the extension of the Metro Line A from Dejvice to Motol (metro line section VA) is becoming reality. This means that a learning curve period has started. For that reason the time has come which is suitable for publishing information about particular procedures and activities associated with this technology during the course of driving single-track tunnels. Anyway, it is necessary to state at the beginning that the technology using full-face tunnelling machines is complex and very comprehensive, therefore any part of the single-track metro tunnel driving technology would be sufficient for a separate paper. This paper for TUNEL journal has been prepared by several authors, who are members of the Metrostav a.s. project team working on the above-mentioned section of the metro construction, and also by Metroprojekt Praha a. s., the designer. The objective of the paper is to provide an elementary description of selected pieces of the equipment and associated operations performed during the excavation by Earth Pressure Balance (EPB) shields, first of all to present the most important parameters of the shield, describe the logistic solution for transport behind the shield, erection of the segmental lining, application of back grouting and selection of the tunnelling machine.

THE USE OF A FULL-FACE TUNNELLING MACHINE AS VIEWED BY THE DESIGNER

There are certainly unquestionable reasons for driving tunnels by conventional methods, because till now the excavation of all tunnels in the CR has been completed using conventional techniques. Nevertheless, it is necessary to admit that several limits have been reached which can never be surpassed.

When driving metro tunnels through soils, the settlement values were higher than 2.0 cm even if the vertical excavation sequence (side drifts and central pillar) and other measures were applied. According to the volume loss method, these values corresponded to the loss of 1.5 per cent. The calculation method contains parameters determined on the basis of experience. These parameters suggest that if we require the loss of volume to be about 1 per cent or smaller, we can reach it only by using a full-face tunnelling machine.

Another limit lies in the fact that the NATM excavation is in essence open-face excavation, with the surface of the excavated opening exposed possibly for an hour or longer. In this case it is impossible to completely exclude slipping of ground into the excavation or a tunnel collapse.

Conversely, driving tunnels through hard rock requires blasting to be applied to breaking it. In a residential area it is often very difficult discuss with the parties and, subsequently, with the Bureau of Mines, to obtain a blasting permission; blasting limits have to be complied with or a rock excavator has to be solely used.

It was obvious that all of these limitations would have to be coped with even when implementing the metro Line VA extension project is being implemented. The problems in this case

výškové budovy, tloušťka jednovrstvého montovaného ostění byla 250 mm. Určitým milníkem při ražbě zeminovým štítem byla stavba metra v Los Angeles, kde investor měl přímo panický strach z poklesů terénu a požadoval nulové sedání. Díky novým technickým řešením, zejména obzvláště dlouhému šnekovému dopravníku, bylo nulových poklesů skutečně dosaženo.

Po zvážení všech podmínek stanovil projektant v souladu s investorem, že ražba traťových tunelů prodloužení metra VA bude provedena plnoprofilovým tunelovacím strojem.

Těchto strojů je mnoho různých druhů, ale pokud se podíváme na podmínky, které budou v Praze při prodloužení metra VA, zjistíme, že musí být použit stroj, který umí vyvodit tlak na čelbu při ražbě v zeminách a pod hladinou podzemní vody. To splňují zeminový štít nebo bentonitový štít. Zeminový štít (EPBS) je méně nákladný a není nutná složitá separace vyrušeného materiálu. Protože i zrnitost zastižených zemin v Praze je vhodná, byl tento stroj stanoven v projektu pro výběr zhotovitele a následně i výběrem zhotovitele potvrzen.

RAŽBA TECHNOLOGIÍ EPBS NA TRASE METRA VA

Jednokolejné traťové tunely stavby prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická do stanice Motol budou raženy zeminovými štíty, což je typ použité technologie, kdy vyrovnávání tlaku od okolní horniny eventuálně i podzemní vody v okolí plnoprofilové hlavy stroje i v odtěžovací komoře je během ražby řízeně prováděno za pomoci rozpojené a vhodně upravované horniny či zeminy (např. přidáním stlačeného vzduchu, eventuálně vody či chemických přísad). Pro ražbu byly vyrobeny štíty s pořadovými čísly výrobce Herrenknecht (Německo) S-609 a S-610. Uvedené označení je používáno pro plnoprofilové tunelovací stroje s průměrem větším než 5 m. Oba stroje pro metro mají vnější průměr štítu 605 cm s možností nastavovacího nadřezu plnoprofilovou hlavou až na 610 cm.

Samotný zeminový štít se skládá ze štítové části, 7 závěsných vozíků a z jedné mostové části. Tyto díly prvního stroje S-609 (nazvaného Tonda) byly od konce ledna 2011 dopravovány po částech na staveniště BRE1 (obr. 1), ležící východně od křižovatky Vypich cca 500 m před stanicí Petřiny. Ražby jednokolejných tunelů technologií EPBS byly zahájeny v polovině dubna tohoto roku na levé tunelové troubě (pohled ve směru ražby) pomocí stroje S-609. Montáž a zahájení ražeb pomocí druhého stroje, jehož označení je S-610 (Adéla), jsou plánovány s tříměsíčním odstupem.

Trasu ražených jednokolejných tunelů, kterou musí stroje do stanice Dejvická urazit, je možno rozdělit na dva hlavní úseky. První začíná na zařízení staveniště BRE1 a končí na staveništi E2 situovaném přibližně v polovině trasy. Druhý úsek zahajuje z E2 a končí před stanicí Dejvická. Stanicí Petřiny, tj. stavebním oddílem SO 07 ST Petřiny + odstavy, budou oba štíty pouze protaženy předem vyraženými dílčími výrubami jednodílné stanice. Ražba pak bude znovu zahájena v předem připravených zarážkách na konci stanice. Za stanicí Petřiny pak bude ražba jednokolejných tunelů pokračovat v SO 06 TÚ Veleslavin – Petřiny bez přerušení v délce 1066 m až do třílodní stanice Veleslavin. Třílodní stanice Veleslavin se štíty protáhnou předem vyraženými bočními tunely stanice. Poté zahájí krátkou ražbu v SO 04 TÚ Červený vrch – Veleslavin délky cca 150 m až do otevřené stavební jámy na staveništi E2. Po projetí obou strojů jámou E2 bude zahájen přesun kompletního technologického vybavení (systém pásových dopravníků, chlazení, míchací centrum a ostatní) ze zařízení staveniště BRE1 na zařízení staveniště E2, čímž se pro provádění definitivních ostění stanic uvolní první úsek včetně dvou stanic Petřiny a Veleslavin. Z jámy E2 bude následovat

are further aggravated due to driving tunnels under existing buildings. At the same time, the excavation sequence and other measures reduce daily advance rates and the overall construction time available.

If we look at similar projects implemented in similar conditions abroad, tunnels are most frequently driven using full-face tunnelling machines. As an example containing some of the parameters, let us mention the construction of metro in Vancouver, where the ground surface subsidence when driving tunnels by an EPB shield did not exceed 5 mm, high-rises were passed under and the thickness of the single-shell segmental lining was 250 mm. Metro construction in Los Angeles, where the project owner was panically afraid of terrain subsidence and required zero values, became a certain milestone in driving tunnels by EPB machines. Owing to new technical solutions, first of all an especially long screw conveyor, the zero subsidence was really achieved.

After taking all conditions into consideration, the designer, in agreement with the project owner, decided that the running tunnels of the metro VA line extension would be driven using a full-face tunnelling machine.

There are lots of various types of these machines, but if we see the conditions to be encountered in Prague during the work on the metro VA line extension, we find out that the machine to be used has to be capable of producing a pressure on the excavation face when driving through soils and under the water table. This requirement is met by EPB shields or slurry shields. EPB shields are less expensive and the complex system of separation of the muck is not necessary. Since the grain size distribution of



Obr. 1 Zařízení staveniště BRE1 – celkový pohled (foto Jan Tatar)

Fig. 1 BRE 1 construction site – overall view (Photo courtesy of Jan Tatar)

ražba štítem v délce cca 100 m. Jednolodní stanicí Červený vrch (SO 03) budou oba štíty protaženy bez ražení. Za stanicí Červený vrch pak stroje zahájí nejdelší a nejsložitější úsek ražeb z pohledu předpokládaného geologického prostředí. Tento úsek o délce cca 1760 m v SO 02 TÚ Dejvická – Červený vrch končí ve stanicí Dejvická SO 01, kde budou oba stroje demontovány a po částech přesunuty na povrch. Celkově oba zeminové štíty vyrazí jednokolejně tunely o délce cca 8100 m (2x4050 m).

DOPRAVA A MONTÁŽ ŠTÍTŮ S-609, S-610

Doprava prvního tunelovacího komplexu byla rozložena na celkem 38 kamionech, z nichž pět přesahovalo šířku čtyř metrů a dva náklady přesahovaly dokonce šířku šesti metrů. S těmito dvěma kamiony musea jet doprovodná vozidla včetně policejních aut. V případě zbylých kamionů s širším nákladem, které byly vypraveny z Itálie, byla celková doba transportu prodloužena z jednoho týdne až na deset dní. Důvodem byl problém s doprovodem italské policie. V podstatě se však dá shrnout, že díky dobré připravenosti a plánování celkově proběhly dovozy dílů komplexu bez větších problémů. Vyrožení a spouštění jednotlivých dílů celého komplexu pak bylo zabezpečeno pomocí mobilního jeřábu Liebherr LR 1750 na pásovém podvozku.

Postup montáže štítu S-609 se řídil přesně stanoveným harmonogramem. V průběhu zahájení navážení částí stroje a při jeho kontinuální montáži se ukázalo, jak byla důležitá příprava v podobě rozvržení časových a prostorových nároků na tento proces. Stroj byl navážen v ucelených již smontovaných částech, které většinou sestávaly z rozložených dílů závěsných vozíků. K tomu však bylo nutno přimontovat další konstrukční a strojní části. Až poté se mohlo přistoupit ke spuštění sestaveného vozu závěsu do montážní šachty. Nejdříve po smontování byly spuštěny přes montážní šachtu na předem připravené koleje v montážní komoře vozíky č. 5, 4, 3, 2. Následně samotné díly štítu včetně řezné hlavy byly smontovány na lůžku na dně montážní šachty o průměru cca 21 m a hloubky 34 m. Pro zasunutí tělesa štítu do předem připravených startovacích zářezek byl celý razicí komplex doplněn o vozík č. 1 a mostní konstrukci uzpůsobenou pro manipulaci se segmenty. Takto sestavený tunelovací komplex byl po úvodní část ražeb provizorně napojen na vozíky č. 6 a 7, které



Obr. 2 Montážní komora s částí závěsu stroje EPBS (konkrétně návěsy č. 3, 4 a 5) (foto Jan Tatar)

Fig. 2 Assembly chamber with a part of the back-up train (concretely gantries No. 3, 4 and 5) (Photo courtesy of Jan Tatar)

soils to be encountered in Prague is suitable, this machine type was required by the tender documents and the selection was confirmed in the tender design documents.

TUNNELLING ON THE METRO LINE VA USING FULL-FACE TUNNELLING MACHINES

Single-track running tunnels on the metro Line VA extension in Prague from Dejvická station to Motol station will be driven by EPB shields. This shielding technology is characterised by balancing of the pressure induced by surrounding ground or even ground water in the surroundings of the full-face cutterhead and in an extraction chamber, which is carried out in a controlled manner during the driving advance by means of the disintegrated and properly treated rock or soil (e.g. by adding compressed air or water or chemical additives). Herrenknecht AG (Germany) manufactured shields with serial numbers S-609 and S-610 for this project. The above marking has been used for full-face tunnelling machines with diameters exceeding 5 m. The two machines for the metro have shields with outer diameters of 605 cm, featuring the possibility of setting the full-face cutterhead to overcut the profile diameter up to 610 cm.

The EPB shield itself consists of a shield section, 7 backup carriages and one bridge section. These components of the first S-609 machine (named Tonda) were transported in parts to the BRE1 construction site, starting from the end of January 2011 (see Fig. 1). The site is found east of Vypich intersection, about 500 m before Petřiny station. The excavation by the EPB shield commenced in mid-April 2011 in the left-hand tunnel tube (viewed in the direction of the excavation), using the S-609 machine. The assembly and commencement of the excavation by the other machine, marked S-610 (Adéla) are planned to lag 3 months behind.

The route of the mined single-track tunnels to be passed through by the shields running to Dejvická station can be divided into two main sections. The first section begins on the BRE 1 site and ends on the E2 site, which is located approximately in the middle of the route. The second section starts from the E2 site and ends before Dejvická station. Petřiny station, i.e. construction lot SO 07 Petřiny station + stabling tunnels, will be overcome by the shields, which will be only pulled through pre-excavated drifts, forming parts of the excavation for the single-vault station. Then the excavation will be restarted at stubs pre-prepared at the end of the station. Behind Petřiny station the excavation of the single-track tunnels will continue without interruption along the 1,066 m long construction section SO 06 TÚ Veleslavín – Petřiny, ending in Veleslavín 3-vault station. The shields will be pulled through the 3-vault Veleslavín station along tunnels pre-excavated on the sides of the station cross-section. Then they will commence the excavation of a short (about 150 m long) section SO 04 TÚ Červený Vrch–Veleslavín, up to the open construction trench on the construction site E2. When the passage of both tunnelling machines through construction trench E2 has been finished, moving of complete equipment (the system of belt conveyors, cooling system, a mixing centre and other) from BRE1 site to E2 site will start. Thus the initial section including Petřiny and Veleslavín stations will be vacated for the installation of the final lining in the stations. Shield driving will continue from E2 construction trench at the length of about 100 m. Both shields will be pulled through the single-vault station Červený Vrch (SO 03) without being operated. Behind Červený Vrch station the machines will be launched to drive the longest section, which will be the most difficult in terms of the anticipated geology. This 1,760 m long section within SO 02 TÚ Dejvická – Červený Vrch lot ends at Dejvická station (SO 01), where both machines will be dismantled and moved in parts to the surface. In total, the two EPB tunnelling machines will drive single-track tunnels at the length of about 8,100 m (2x4,050 m).

byly umístěny na povrchu a ke komplexu se připojily až v době, kdy vozík č. 5 byl zatažen do tunelu. Pak bylo možné spojit tunelový komplex v jeden celek a dostrojít ho kompletně v šachtě a montážní komoře, což je dvoukolejný tunel metra orientovaný od montážní šachty směrem k Motolu (obr. 2).

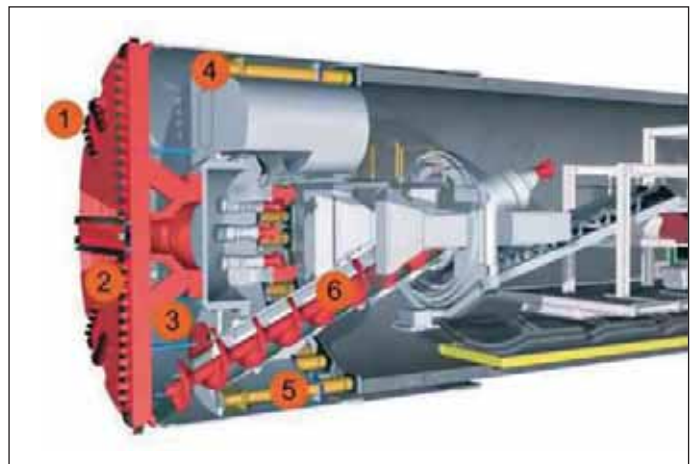
ZEMINOVÝ ŠTÍT, PRINCIP FUNKCE

Earth Pressure Balanced Shield neboli zeminový štít se vyznačuje možností vyrovnávání tlaku s pomocí rozpojené rubeiny vhodné konzistence s tlakem vyvozovaným okolním horninovým prostředím během ražby. Princip ražby zeminovými štíty (obr. 3) je založen na rozpojování horniny na čelbě tunelu (1) pomocí řezných nástrojů umístěných na rotující řezné hlavě (2). Rozpojená hornina pak prochází přes otvory v řezné hlavě do odtěžovací komory (3), kde se promíchává s již rozpojenou rubaninou. Síla tlačných válců je přenášena do rozpojené rubaniny prostřednictvím tlakové přepážky (4), jež odděluje prostor s proměnlivým tlakem (kopírující tlak v okolním horninovém prostředí) a navazující část stroje v tunelu (s obvyklým atmosférickým tlakem). Zajištěním protitlaku brání tlaková přepážka nekontrolovanému pronikání rubaniny z čelby tunelu do prostoru stroje, stabilizuje stěnu čelby a zabraňuje vzniku nadvýlomů. Rovnovážného stavu je dosaženo, jakmile rozpojená rubanina v odtěžovací komoře brání samovolnému pronikání rubaniny do odtěžovací komory stroje. To může být způsobeno horninovým a hydrostatickým tlakem zeminy zastíženým na čelbě tunelu. Aby k tomu nedošlo, musí tlak na čelbě tunelu zhruba odpovídat tlaku ve zbytku odtěžovací komory. Jestliže by narostl tlak, vyvolaný rozpojenou rubaninou v tlakové komoře stroje během vyrovnávání tlaků, pak se rubanina v odtěžovací komoře a hornina na čelbě tunelu mohou dále konsolidovat, což může způsobit otřesy před štítem. Naopak pokud bude tlak v komoře snižován, může rubanina před řeznou hlavou stroje pronikat do odtěžovací komory stroje a způsobovat sedání povrchu nad strojem. Snahou je, aby výsledné ovlivnění zeminového prostředí v okolí stroje, a tím i povrchu nad zeminovým štítem bylo minimální.

ZEMINOVÉ ŠTÍTY JAKO ŘEŠENÍ PRO PRODLOUŽENÍ TRASY METRA VA

V případě plnoprofilových tunelovacích strojů pro prodloužení trasy VA se jedná o zeminové štíty s průměrem řezné hlavy 6080 mm. Celková délka stroje přesahuje 100 metrů, váha je téměř 700 tun. Řezná hlava (obr. 4 a 5) je rozdělena do tří celků pro usnadnění její montáže a zejména demontáže po ukončení ražeb. Osazena je 17 dvojími valivými dláty a čtyřmi jednoduchými obrysovými dláty, které lze vysunout a zvětšit tak ražený průměr až na 6100 mm. Pro ražbu v zeminách je možno kompletně vyměnit valivá dlátá za řezné nože, které jsou do měkkého prostředí vhodnější.

O posun štítu a o přítlak razící hlavy se stará sestava 16 dvojic hydraulických lisů. Odtlačováním od zabudovaného ostění tlačí písty celý štít dopředu a současně táhnou za sebou kompletní závěs stroje (vozíky a mostovou část), na kterém je umístěna technologická část. Původní návrh počítal s menším počtem pístů o větším průměru, ale pro úsporu místa se přistoupilo k řešení použít písty o menším průměru a ty spráhnout do dvojic. Prostor štítu je totiž vybaven značným množstvím zařízení. Kromě již zmíněných pístů po obvodu štítu se jedná o přetlakovou a pracovní komoru, hlavní motorovou jednotku s procházejícím šnekovým dopravníkem, artikulačních pístů atd. Sestavu doplňuje propletenec hadic a rozvodů, a to jak hydraulických s řízenými ventily



Obr. 3 Grafické zobrazení principu zeminového štítu
Fig. 3 Graphical representation of the EPB shield principle

TRANSPORT AND ASSEMBLY OF SHIELDS S-609, S-610

The first tunnelling complex was divided for transport purposes into 38 camions, the width of five of which exceeded four metres. The width of two loads even exceeded six metres. These two camions had to be accompanied by escort vehicles including police cars. As far as the remaining camions carrying wider loads dispatched from Italy are concerned, the total time of the transport was extended from one week up to ten days. The reason was a problem with the Italian police escort. Nevertheless, it is in essence possible to sum up that, owing to good preparedness and planning, the transport of the parts of the complex was finished without more significant problems. Unloading and lowering of individual parts of the whole complex was performed by a mobile crawler-mounted crane Liebherr LR 1750.

The S-609 shield assembly procedure followed a precisely prepared schedule. It turned out even at the beginning of supplying the machine components to the site and continually assembling them how important the preparation during which the time and spatial requirements of this process were laid out was. The machine was assembled from pre-assembled parts, which mostly consisted of dismantled parts of back-up gantries. It was necessary to attach other structural and mechanical parts to them. Only then was it possible to set about lowering a completely assembled back-up gantry down the assembly shaft. Completed gantries 5, 4, 3 and 2 were the first ones to be lowered through the assembly shaft on a track pre-prepared in the assembly chamber. Then the components of the shield itself, including the cutterhead, were assembled on a cradle at the bottom of the assembly shaft about 21m in diameter and 34 m deep. For the purpose of pushing the shield body in pre-prepared launching arresters, the entire tunnelling complex was supplemented by gantry No. 1 and the bridge structure, which was adjusted for handling the segments. After the initial stretch of the excavation, the tunnelling complex which had been assembled in the above-mentioned way was temporarily connected with gantries No. 6 and 7, which were located on the surface and were coupled to the complex only after gantry No. 5 had been pulled in the tunnel. Subsequently it was possible to join the entire complex to form one unit and completely finish the fitting-out in the shaft and assembly chamber. The assembly chamber is a double-track metro tunnel heading from the assembly shaft toward Motol (see Fig. 2).

EARTH PRESSURE BALANCE SHIELD – FUNCTION PRINCIPLE

An Earth Pressure Balance Shield is characterised by the ability to balance pressure by means of disintegrated ground with

a podružnými rozvody, tak i ostatních rozvodů vody, chemie, napojení čidel a podobně. Ve zkratce se dá konstatovat, že co se „připraví na závěsu, to se zužitkuje ve štítu“. Čelo stroje tvoří padesátitunový monoblok řezné hlavy, kterým otáčí sestava osmi hydraulických motorů. Za řeznou hlavou následuje odtěžovací a pracovní komora s přetlakovou (kompresní) komorou. Zakomponování pracovní komory do štítu se již dnes ukazuje jako velice prozíravé rozhodnutí. Při použití pracovní komory se totiž přidává další prostup přes tlakovou přepážku. Prostup navazující na přetlakovou komoru má kruhový profil menšího průřezu a pro transport např. řezných nástrojů na výměnu se nehodí. Pak by pracovníci zajišťující servis štítu museli mít všechny tyto řezné nástroje i s pomocnou mechanizací v přetlakové komoře, a to po dobu komprese. Z tohoto důvodu se mezi přetlakovou přepážku a přetlakovou komoru přidala pracovní komora a s tím související další prostup přes tlakovou přepážku, tzv. materiálový. Ten je větší, obdélníkového průřezu. Ve spodní části pracovní komory je prostor pro náhradní řezné nástroje i pomocnou mechanizaci, takže přetlaková (kompresní, neboli hyperbarická) komora zůstala volná pouze pro pracovníky. Při kontrole řezné hlavy a výměně řezných nástrojů bez přetlaku se tak používají dvě pracoviště, kdy na jednom (např. u materiálového prostupu) se čistí řezná hlava a na druhém pracovišti může současně probíhat výměna řezných nástrojů, což výrazně urychlí celý proces a zkrátí tak nutnou dobu přestávky v ražbách. O pohon řezné hlavy se stará šest hydraulických motorů s příkonem 1200 kW. Šestnáct dvojic hydraulických pístů generuje maximální přítlak na čelbu o velikosti 39 000 kN (obr. 6). Aby se do hlavního ložiska nedostala rubanina nebo voda, je tento systém chráněn ztrátovým kanálkovým mazáním za použití maziva HBW. Pro případ přerušení ražeb na delší dobu v nestabilním, případně zvodnělém prostředí, je na stroji nachystán rozvod bentonitu, který lze namíchat a začerpat jak do odtěžovací komory a před řeznou hlavu, tak i do prostoru mezi výrub a štít. S jeho pomocí je eliminováno rozvolňování výrubu a případné následné sedání povrchu. Závěs stroje je s touto motorovou částí stroje spojen ocelovou konstrukcí podobnou mostu. Ten je zde proto, aby celá spodní část tunelu zůstala



Obr. 4 Řezná hlava zeminového štítu S-609 (Tonda)
Fig. 4 Cutting head of S-609 (Tonda) EPB shield

suitable consistency acting against the pressure induced by the surrounding ground environment during the course of the excavation. The principle of driving tunnels by EPB shields (see Fig. 3) is based on disintegrating ground at the tunnel face (1) by means of cutting tools mounted on a rotating cutting head (2). The disintegrated ground passes through openings in the cutting head to the extraction chamber (3), where it is mixed with the ground which was disintegrated before. The force generated by thrust cylinders is transferred into the disintegrated muck via the pressure bulkhead (4), which divides the space with the variable pressure (copying the pressure existing in the ground environment) and the adjacent part of the machine found inside the tunnel, which is under the normal atmospheric pressure. Through the counter-pressure, the pressure bulkhead prevents the muck from penetrating to the machine space, stabilises the excavation face and prevents overbreaks. The state of equilibrium is reached when the disintegrated muck in the extraction chamber starts to prevent the muck from spontaneously penetrating to the extraction chamber. This effect can be caused by the ground pressure and hydrostatic pressure encountered at the tunnel face. To avoid it, the pressure at the tunnel face has to roughly correspond to the pressure existing in the remaining part of the extraction chamber. If the pressure in the pressure chamber induced by the disintegrated ground grows during the process of balancing the pressures, the muck found in the extraction chamber and ground at the tunnel face can further consolidate, possibly causing quaking in front of the shield. Conversely, if the pressure in the chamber is lowered, the muck in front of the cutting head can penetrate to the extraction chamber, causing the settlement of the surface above the machine. There is an effort to minimise the resultant impact on the ground environment in the vicinity of the machine and the associated impact on the ground surface above the EPB shield.

EPB SHIELDS AS A SOLUTION FOR THE METRO LINE VA EXTENSION

As far as the full-face tunnelling machines for the extension of the Line A are concerned, they are of the Earth Pressure Balance type; the diameter of their cutting heads is 6,080 mm. The total length of the machine exceeds 100 metres, the weight is nearly 700 tonnes. The cutting head (see Figures 4 and 5) is divided into three units to allow easier assembly and, first of all, dismantling after the end of driving the tunnels. It is fitted with 17 twin-disc cutters and four single-disc gauge cutters, which can be extended, thus the excavated diameter can be increased up to 6,100 mm. When driving tunnels through soils, it is possible to replace disc cutters with rippers, which are more suitable for a soft environment.

Shifting of the shield ahead and the thrust on the cutting head is provided by a set of 16 pairs of hydraulic jacks. The entire shield is propelled by thrust cylinders leaning against the completed lining. At the same time the cylinders pull the complete back-up train behind the shield (gantries and the bridge part). They carry the technological part. The original design required a smaller number of cylinders with a larger diameter, but because of efforts to save space, a solution consisting of cylinders with smaller diameters coupled in pairs was adopted. The space inside the shield is equipped with many facilities. Apart from the above-mentioned cylinders installed around the shield perimeter, there are a hyperbaric chamber and a working chamber, the main motor unit with a screw conveyor passing through it, articulation cylinders etc. there. The set is supplemented by a tangle of hoses and distribution lines, both hydraulic with controlled valves and secondary distribution lines and other systems distributing water, chemicals or other lines, e.g. connecting the sensors. In short, it is possible to state that "what is prepared in the back-up is used in the shield". The front end of



Obr. 5 Spouštění řezné hlavy montážní šachtou
Fig. 5 Lowering the cutting head down the assembly shaft

volná pro transport a budování segmentového ostění. K montáži ostění slouží vakuový erektor, dopravující jednotlivé segmenty ostění do správné pozice

Za mostem se nachází řídicí kabina a další nezbytné prvky, jako například pásový dopravník, který probíhá celým závěsem stroje. Závěs tvoří jednotlivá technologická centra umístěná na vozících, potřebná pro chod celého systému. Jedná se o sekci obsahující hydraulické pumpy, trafostanice, bubny s vlečnými kabely a potrubím, sekci pro prodlužování veškerých vedení v tunelu atd.

SLEDOVÁNÍ A ZÁZNAM RAŽEB

Aby bylo možné mít zadokumentované postupy ražeb zeminovým štítem a možnost on-line sledování všech procesů, jsou oba tunelovací komplexy vybaveny systémem od firmy VMT, který je znám pod názvem „IRIS“. Systém kontinuálně sbírá, zpracovává a vyhodnocuje všechna dostupná data z tunelovacího stroje a předává je v přehledných výkazech. Samotný systém je nainstalován přímo na tunelovacím stroji a na počítačích oprávněných zaměstnanců projektového týmu. Díky tomu je možné online sledovat z kanceláře pozici stroje s ohledem na povrch, jeho hlavní pracovní hodnoty, prováděnou navigaci stroje, sled sestavovaných segmentů do prstenců apod. Systém rovněž dává varovné signály v případě překročení předem nastavených parametrů jak pro stroj, tak např. pro poklesy na zástavbě, které mohou být rovněž sledovány průběžně. Díky tomu lze při relativně rychlých postupech plnoprofilových tunelovacích strojů zajistit bezpečnou ražbu s rychlou reakcí odpovědných pracovníků týmu s minimalizací dopadů ražených tunelů na konfiguraci terénu či povrchovou zástavbu.

LOGISTIKA PRO STROJE EPBS NA TRASE VA, NÁVRH A ZKUŠENOSTI

Návrh a výsledná koncepce logistiky pro ražby jednokolejných tunelů vzešla ze snahy o optimální využití všech progresivních prvků na zeminovém štítu a s ohledem na situaci ZS a podmínky pro zahájení ražeb. Celá koncepce logistického zajištění technologie pak byla navržena na maximální možný postup zeminového štítu až k teoretickému výkonu 900 m za měsíc. Při 30 pracovních dnech v měsíci to je až 30 m za den, tzn. 20 prstenců denně na jeden štítový komplex. Při maximálním souběžném postupu obou štítů je potřeba přivést

the machine is formed by a fifty-tonne compact block of the cutting head, which is rotated by a system of eight hydraulic motors. Behind the cutting head there are the extraction chamber and working chamber with a hyperbaric (compression) chamber. The incorporation of the working chamber into the shield turns out today to be a very far-sighted decision. The fact that a working chamber is used means that an additional opening through the pressure bulkhead is available. The opening leading to the hyperbaric chamber has a circular profile with a smaller diameter, thus it is not suitable for transporting, for example, cutting tools and replacing them. This means that workers providing services for the shield would have to have all cutting tools and auxiliary mechanical equipment inside the hyperbaric chamber throughout the time spent under the compression. For that reason the working chamber was added, to be installed between the pressure bulkhead and the hyperbaric chamber, providing another passage through the pressure bulkhead, the so-called “material passage”. This larger passage cross-section is rectangular. In the bottom part of the working chamber there is a space for spare cutting tools and auxiliary mechanical equipment, thus the hyperbaric chamber remains free only for workers. When inspecting the cutting head and replacing cutting tools without overpressure, two work places are used; the cutting head is cleaned at one workplace (e.g. the one which is at the material passage) and cutting tools replacement can be carried out simultaneously at the other workplace. This system will significantly accelerate the entire process and will reduce the time required for breaks during the excavation. The cutting head is propelled by six hydraulic motors with the input of 1,200 kW. Sixteen pairs of hydraulic cylinders generate the maximum thrust against the face of 39,000 kN (see Fig. 6). The system is protected by a loss lubrication channel system preventing the muck or water from entering the main bearing. HBW grease is used. A bentonite distribution system is prepared on the machine in case the excavation is suspended for a longer time in an instable or water-bearing environment. Bentonite can be mixed and pumped to both the extraction chamber and the annular space between the excavated surface and the shield. The use of this system eliminates loosening of the excavation and the possible subsequent settlement of the surface. The back-up train is connected with this motor section of the machine via a steel structure in the form of a bridge. The bridge is intended to allow the vacation of the entire bottom part of the tunnel so that it remains free for transport and assembling the segmental lining. The lining is erected using a vacuum-assisted erector, placing individual lining segments into correct positions.



Obr. 6 Vrchní pohled na štítovou část stroje S-609 během montáže (foto Jan Tatar)
Fig. 6 View of the top of the shield part of S-609 tunnelling complex during assembly (Photo courtesy of Jan Tatar)



Obr. 7 Dvojice zásobníků pro dopravníkové pásy, stojících v blízkosti montážní šachty (foto Jan Tatar)

Fig. 7 The pair of silos for conveyor belts located in the vicinity of the assembly shaft (Photo courtesy of Jan Tatar)

40 prstenců na mezisklad segmentů a poté je distribuovat ke štítům. Z uvedeného vyplývá, že je nutno ke stroji dopravit minimálně jeden prsteneček za hodinu.

Při ražbě štítů vzniká v jednom cyklu přibližně 45 m³ rubaniny, kterou je potřeba dopravit od štítů na mezideponii. Ta byla navržena na povrchu v prostoru zařízení staveniště. Dále je nutné dopravit ke stroji 3,8 m³ výplňové malty pro zainjektování prostoru mezi výrubem a vnějším pláštěm každého prstence a zmiňované segmenty pro jeho montáž.

Do logistiky proto zahrnujeme:

- **Systém pásových dopravníků – odtěžení rubaniny**
 - ZS BRE1 tunelový pás šíře 650 mm, pás v přístupové štolce šíře 800 mm
 - ZS E2 tunelový pás šíře 650 mm
- **Doprava segmentů na kolové platformě MSV**
 - MSV 16 t, výkon 147 kW
 - nadstavba na dopravu osob
 - jeřábová platforma s nosností 1,5 t
- **Doprava dvoukomponentní výplňové malty**
 - míchací zařízení na komponentu A v rámci ZS, čerpání komponenty A ke štítu potrubím 2,5“
 - komponenta B – urychlující přísada v zásobníku 2 m³ za štítem, doplňována z IBC kontejnerů dopravovaných MSV
- **Doprava chladicí kapaliny, chladicí jednotky – chlazení motorů**
 - potrubí 6“ pro dopravu chladiva, chladivo je voda, jednotky jsou umístěny v rámci ZS, pro každý štít jedna samostatná jednotka
- **Vystrojení povrchu i podzemí**
 - vedení potrubí na povrchu a v podzemí
 - řešení ergonomie rozmístění jednotlivých technologií na ZS

Systém pásových dopravníků (dále jen CBS) (obr. 7) byl řešen ve spolupráci s firmou H+E logistik (dále jen HE), která dodala CBS takzvaně „na klíč“ vč. projektové dokumentace. Při samotné montáži byli přítomni supervizoři firmy H+E, kteří koordinovali jednotlivé fáze montáží a dále se podíleli na rozběhu CBS. Z důvodu komplikovaného uspořádání zařízení staveniště nebylo možné postupovat podle projektové dokumentace a bylo nutné postupně modifikovat projektovou dokumentaci podle reálné situace

Behind the bridge there is the operator's cabin and other indispensable elements, for example a belt conveyor, running throughout the back-up train length. The back-up train consists of individual technological centres required for functioning of the whole system, which are mounted on the gantries. There are a section containing hydraulic pumps, transformer stations, reels with towing cables and tubes, a section for extending all lines in the tunnel etc. there.

EXCAVATION MONITORING AND RECORDS

With the aim of allowing all EPB shield excavation advances to be documented and all processes be monitored, both tunnelling complexes are equipped with the system developed by VMT which is known under the name of “IRIS”. The system continually collects, processes and evaluates all data on the tunnelling machine available and transfers it in the form of synoptic records. The system itself is installed on the tunnelling machine and computers of authorised members of the project team. Owing to the system it is possible to observe from an office the machine position relative to the surface, main working parameters of the machine, the machine navigation being carried out, the sequence of the segments being installed to form a lining ring etc. In addition, the system gives warning signals in the case of exceeding preset parameters both for the machine and, for example, for settlements measured on buildings, which can be also monitored continuously. Owing to the system it is possible, with relatively high advance rates of the full-face tunnelling machines, to guarantee safe driving of tunnels with rapid response of responsible members of the team, thus minimising the impact of the mined tunnels on the terrain configuration or existing buildings

LOGISTICS FOR EPB SHIELDS ON THE LINE VA, DESIGN AND EXPERIENCE

The design and final concept of logistics for the excavation of single-track tunnels arose from the effort for using all progressive elements on the EPB shield with respect to the construction site layout and conditions for commencing the drive. The entire concept of the logistics required for supplying equipment has been designed for the maximum possible advance rate of the EPB shield, up to the theoretical rate of 900 m per month. With 30 working days in a month this means up to 30 m per day, i.e. 20 rings per day per one tunnelling complex. In the case of the maximum simultaneous advancing of both shields it is necessary to bring 40 rings to an intermediate stockyard for segments and subsequently distribute them to the shields. It follows from this information that it is necessary to carry at least one ring per hour to the machine.

Approximately 45 m³ of muck is produced in the shield driving process during one cycle. The muck has to be transported from the shields to an intermediate stockpile. This stockpile location has been designed to be on the surface, in the area of the construction site. In addition, it is necessary to transport to the machine 3.8 m³ filling grout to be injected to the annular space between the excavation and the outer surface of each ring and the above-mentioned lining segments.

For that reason we include the following components into the logistics:

- **A system of belt conveyors for mucking out**
 - BRE1 site – tunnel belt 650 mm wide; 800 mm wide belt in the access tunnel
 - E2 site – tunnel belt 650 mm wide
- **Transport of segments on a wheeled platform – a Multi Service Vehicle (MSV)**
 - MSV 16 t, output of 147 kW
 - superstructure for transport of persons
 - crane platform with load-bearing capacity of 1.5 t



Obr. 8 Zkoušení dvoukomponentní výplňové malty na testovacím zařízení, které simuluje podmínky směšování komponenty A a B na tunelovací stroji (foto Jan Tatar)

Fig. 8 Testing of two-component filling grout on a testing machine which simulates conditions of blending components A and B on the tunnelling machine (Photo courtesy of Jan Tatar)

na ZS. I samotné seřizování pásu, které proběhlo před zahájením ražby, nebylo bez problémů. Největší potíž byla se seřizováním pásu v přístupové štolě Kateřina a s modifikacemi na přesypech. Přesto byla celá instalace CBS dokončena do plánovaného rozjezdu štítu.

Z důvodu komplikované situace s uspořádáním zemino- vých štítů a pásových dopravníků v montážní komoře byly oproti původně uvažované kolejové dopravě navrženy na dopravu segmentů speciální kolové platformy MSV (Multi Servise Vehicle). Jedná se o víceúčelová kolová vozidla, která byla zatím použita úspěšně jen na několika projektech například v Soči (Rusko), v Istanbulu (Turecko), v Sofii (Bulharsko). Jejich výhodou je možnost dopravy s nákladem přímo mezi podzemím a povrchem při 15% stoupání. Výhodou je řiditelnost obou náprav. Velký rozvor náprav cca 11 m neumožnil zajetí MSV přes křížení přístupové štoly s montážní komorou. Proto bylo první vozidlo spuštěno do podzemí montážní šachtou. Nižší světlá výška obslužných kabin si vyžádala výběr řidičů menšího vzrůstu. Řízení a obsluha vozidla se jeví jako jednoduchá a nedochází zatím k žádným dopravním kolizím.

Nezbytným vybavením štítů, které nebylo obsaženo v původním návrhu logistiky, jsou takzvané chladicí věže, tzn. výměňkové stanice pro druhý otevřený okruh chlazení štítu. Jedná se o klasické RAN kontejnery, ve kterých je instalována nádrž o objemu 6 m³ s dvojicí čerpadel. Na střeše je kontejner vybaven chladicím ventilátorem. Celý systém běží nepřetržitě po celou dobu ražeb. Je nutné udržovat teplotu vody pod 25 °C. Pro oběh je použito potrubí o průřezu 6“ s chladicí kapalinou, kterou je voda. Činností, která je důležitá pro bezproblémový chod výměňkových stanic, je časté čištění filtrů na štítu a nutnost manuálního rozběhu při náhodném vypnutí. Nevýhodou je otevřená nádrž, která se musí jednou za měsíc čistit zejména od rzi. Dílčí řešení spočívá v použití dodatečných filtrů a galvanizovaného potrubí.

Nedílnou součástí logistiky je i ergonomie rozmístění jednotlivých technologických celků na povrchu ZS. Je nutné zajistit obslužitelnost jednotlivých technologií, a to jak při doplňování, tak i při případných opravách a servisech. K tomu je zapotřebí navrhovat a vyrobit vodící konstrukce

• Transport of two-component filling mortar

- mixing equipment for component A in the framework of the site facility, pumping of component A to the shield via 2.5“ pipeline
- component B – accelerating admixture in a 2 m³ silo behind the shield; it is replenished from IBC containers transported on the MSV

• Transport of cooling fluid; cooling units – cooling of motors

- pipeline 6“ for transporting the coolant; water is the coolant; the units are installed on the construction site; separate unit for each shield

• Installations on the surface and underground

- installation of pipelines on the surface and underground
- solution for ergonomics of locating individual pieces of equipment within the site facility

The belt conveyor system (hereinafter referred to as the CBS) (see Fig. 7) was solved in collaboration with H+E Logistik (hereinafter referred to as H+E), which supplied the turnkey CBS, including the design. The assembly itself was supervised by H+E employees, who coordinated individual phases of the work and subsequently participated in starting of the CBS. Because of the complicated layout of the construction site it was not possible to follow the design. It was necessary to step-by-step modify the design documents according to the real situation on site. Even adjusting of the belt, which was performed before the tunnel excavation commencement, was not trouble-free. The biggest problem was with adjusting the belt in the Kateřina access gallery and with modifications at transfer points. Despite the problems the whole installation was finished before the planned shield launching date.

Because of the complicated situation regarding the EPB machines and belt conveyors in the assembly chamber, special wheeled MSV platforms were designed for the transport of lining segments to be used instead of the originally planned rail-bound system. Till now, these multi-purpose wheeled vehicles have been successfully used only on several projects, for example in Sochi (Russia), Istanbul (Turkey) or Sofia (Bulgaria). Their advantage is the possibility of transporting loads directly between the underground and the surface at a rising gradient of 15 %. Another advantage is the possibility of steering both axles. The large distance between axles of about 11 m did not allow the MSV to pass over the intersection of the access gallery with the assembly chamber. For that reason the first MSV was lowered underground via the assembly shaft. The lower net height of operators' cabins required smaller operators to be selected. Steering and operating the vehicle appears to be simple; till now no traffic collisions have happened.

Cooling towers, i.e. heat exchangers for the second open circuit of the shield cooling system, are indispensable equipment of the shields. They were not contained in the original logistics design. The exchangers are classical containers produced by RAN, housing a 60 m³ tank with a pair of pumps. A fan is installed on the container roof. The whole system runs continuously throughout the tunnelling work. The water temperature has to be maintained under 25°C. The coolant (water) circulates through 6“-diameter pipes. Frequent cleaning of filters installed on the shield is an activity which is important for the failure-free operation of the heat exchangers. Also important is manual starting in the case of an accidental switch-off. The open tank, which has to be cleaned once in a month, first of all removing rust, is a disadvantage. A partial solution lies in using additional filters and galvanised pipes.

An inseparable part of the logistics is also the ergonomics of locations of individual technological units on the surface in the construction site space. It is necessary to ensure that individual

pro potrubí, které vede od jednotlivých technologií až ke štítu. Konstrukce vedení šachtou jsou uzpůsobeny pro sdružená potrubí vždy pro jeden štít, tj. dvě potrubí 6" pro chlazení, jedno potrubí 6" pro přívod vzduchu a jedno potrubí 2,5" pro dopravu komponenty A a lufťový tah ze spiro potrubí pro větrání.

DOUKOMPONENTNÍ VÝPLŇOVÁ INJEKTÁŽ

Jedním z důvodů, pro které byl pro ražbu metra VA vybrán zeminový štít, je požadavek na co největší možné omezení sedání povrchu v poklesové kotlině ražby. Jedním z aspektů, které se na minimalizaci sedání podílejí, je využití dvoukomponentní malty pro vyplňování prostoru za vnějším lícem prefabrikovaného segmentového ostění. Výplňová malta je aplikována současně s postupem stroje, čímž je minimalizována doba, po kterou je výrub nezajištěn, což v konečném důsledku vede k redukci ztráty zemi (volume loss).

Kromě výše popsaného plní výplňová malta ještě funkci statickou. Díky její aplikaci dochází ke zmonolitnění prstence z prefabrikovaného ostění, který je sám o sobě podle teorie stavební mechaniky konstrukcí staticky přeuročítou a vytvoří z něj konstrukci staticky neurčitou. Velmi zásadní je i ta skutečnost, že vyplněním mezilehlého prostoru dojde ke spolupůsobení ostění s okolním horninovým masivem a dojde k vyrovnání zatížení, které na ostění působí.

V konkrétních podmínkách stavby jednokolejných tunelů trasy metra VA jde o mezikružší příčného řezu přesahujícího 2,5 m², které je nutno spolu s postupující ražbou vyplňovat. Jelikož se jedná o prostor nezanedbatelného objemu, je požadováno, aby byl souvisle a rovnoměrně vyplněn a aby spolupůsobení mezi ostěním a horninou nastávalo co možná nejrychleji. Tím je vymezen požadavek, aby se malta svou pevností co nejdříve přiblížila hodnotám zajišťujícím stabilní polohu prefabrikovaného ostění ve vyraženém výrubu tunelu. Zároveň je nutné, aby malta byla čerpatelná na kilometrové vzdálenosti, což jsou distance mezi míchacím centrem v prostoru zařízení staveniště a samotným tunelovacím strojem.

Tyto dva protichůdné požadavky byly vyřešeny použitím dvoukomponentní výplňové malty. Komponenta A se skládá z vody, cementu, bentonitu, plastifikační a stabilizační přísady. V přesných hmotnostních poměrech je podle zvolené a předem odzkoušené receptury míchána v míchacím zařízení umístěném na staveništi. Odtud je potrubím dopravována do zásobních nádrží v závěsu za tunelovacím štítem. Odtud je při záběrovém kroku stroje injektážním zařízením čerpána do trysek v ocasní části štítu, kde je k ní těsně před vyplněním prostoru za ostěním v přesně stanoveném poměru přidávána komponenta B. Je to v podstatě urychlovací přísada, která po smíchání s komponentou B způsobí po cca 15 až 20 vteřinách změnu konzistence z tekutého stavu v gel. Ten vykazuje postupný nárůst pevnosti, která finálně dosáhne hodnot několika MPa. Komponenta B se dopravuje v IBC kontejneru na vozidle MSV a přečerpává do 2 m³ zásobní nádrže za štítem.

Vyplňování prostoru tryskami za vnějším lícem ostění je nanejvýš důležitou operací. Problémy týkající se právě aplikace výplňové malty by totiž mohly vést k ovlivnění rychlosti či dokonce zastavení postupů ražeb, ohrožení správné statické funkce tunelového ostění či vyvolání nadměrných velikostí sedání povrchu terénu. Z těchto důvodů byla procesu injektáže a hledání optimální receptury dvoukomponentní výplňové malty věnována značná pozornost (obr. 8). Po dlouhodobém laboratorním zkoušení byla vyvinuta receptura pro konkrétní podmínky stavby.

equipment parts are accessible for the operation, both for complementing and for contingent repairs and servicing. This task requires designing and producing structures guiding the pipelines from individual equipment units to the shield. The structures guiding the pipelines through the shaft are modified always to carry a combination of pipelines leading to one of the shields, i.e. two 6" cooling pipelines, one 6" air supply pipeline, one 2,5" pipeline supplying component A and a Spiro ventilation duct.

TWO-COMPONENT BACK GROUTING

One of the reasons why EPB shields were chosen for driving the metro Line VA was the requirement for minimising the settlement within the settlement trough as much as possible. One of the aspects which contribute to the minimisation is the use of two-component grout designed to fill the space behind the outer surface of the prefabricated segmental lining. The filling grout is injected simultaneously with the tunnelling machine advancing. This procedure minimises the duration of the phase during which the excavated opening is left without support and, in the final result, leads to the reduction of the volume loss.

In addition to the above-mentioned role, the filling grout has a structural function. Owing to its application the lining ring consisting of precast elements, which is, according to the structural mechanics theory, in its substance, a statically overdetermined structure, is made monolithic and it converts the structure to statically determinate. Another substantial fact is that after filling of the annulus the lining starts to act jointly with the surrounding ground mass, thus the loads acting on the lining get equalised.

In the concrete conditions of the construction of single-track tunnels on the metro Line VA, the cross-sectional area of the annulus to be continually filled with the excavation proceeding exceeds 2.5 m². Because the volume in question is not negligible, filling is required to proceed continuously and uniformly so that the composite action of the lining and the ground mass takes place as quickly as possible. This requirement also means that the grout strength values must get close to the values guaranteeing a stable position of the prefabricated tunnel lining inside the excavated opening as soon as possible. At the same time it is necessary for the grout to be pumpable to several kilometre distances (the distances between the mixing centre in the area of the site and the tunnelling machine itself).

These two contradictory requirements have been solved by using a two-component filling grout. Component A consists of water, cement, bentonite and plasticising and stabilising additives. The grout is mixed in a mixing facility on site, with the components dosed in precise weight ratios, following a pre-tested formula. From this place it is transported to storage tanks mounted on the back-up train. The grout is pumped from the tanks during each advance step by a grouting machine to jets on the tail shield, where component B is added to it just before the filling operation, precisely following the prescribed ratio. Component B is in substance an accelerator, which causes a change in the consistency from the liquid state to gel during about 15 – 20 seconds after mixing it with component B. The gel displays gradual gaining of strength, which finally reaches values of several MPa. Component B is transported in an IBC container on the MPS vehicle, to be re-pumped to a 2 m³ storage tank found behind the shield.

Filling of the annulus behind the outer surface of the lining through jets is an extremely important operation. This is so because problems associated with the application of filling grout could lead to affecting of the advance rate or even stopping of the excavation, jeopardising proper structural function of the tunnel lining or inducing excessive magnitudes of the terrain subsidence. For these reasons the grouting process and searching for an optimum formula for the filling grout were paid significant attention (see Fig. 8). After long-term laboratory testing, a formula was developed for the particular site conditions.

Na první pohled by se mohlo zdát, že namíchání jednotlivých složek je věc triviální. Což o to, míchání je vskutku věc snadná, ovšem namíchat celou maltu, tak aby fungovala správně a splňovala všechny požadované vlastnosti, je věc, která by patrně zaměstnala i zkušené alchymisty na dvoře Rudolfa II. O tom se mohli pracovníci Metrostavu přesvědčit ihned při zahájení ražeb a následnému začátku používání systému dvoukomponentní výplňové malty. Odzkoušená receptura začala vykazovat zpočátku odlišné vlastnosti, než jaké byly dosaženy během laboratorních zkoušek. Zejména měla vyšší hodnoty viskozity, než jaké byly požadovány. Změnu viskozity lze řešit kupříkladu přidáním vody či plastifikační přísady. Hodnoty viskozity se tak dostanou na požadované hodnoty, může však dojít k tomu, že bude negativně ovlivněna výsledná pevnost směsi. A takto by se dalo pokračovat. Každá změna některého z parametrů může zlepšit jednu z kvalitativních vlastností směsi za současného zhoršení jiných parametrů. Do hry navíc vstupuje fakt, že kvalitu směsi ovlivňuje nejen poměr jednotlivých složek, ale i pořadí a doba míchání, provozní charakteristiky míchačky a v neposlední řadě proměnlivé vlastnosti cementu či bentonitu. Jelikož v podmínkách stavby nelze měnit receptury při každé nové dodávce zmíněných složek, je třeba mít takovou recepturu, která bude dostatečně odolná vůči drobným změnám vlastností, které tyto složky přirozeně mají.

Používání dvoukomponentní výplňové malty pro vyplňování mezery mezi ostěním a horninou je převzato z Japonska a v Evropě je technologickou operací zaváděnou teprve v nedávných letech. Problémy, které provázejí návrh správné receptury, systém míchání, čerpání potrubím na dlouhé vzdálenosti, ale i dočasné uskladňování v zásobnících, znamenají, že optimální řešení je věc komplexní. Poznatky, které budou během aplikace dvoukomponentní výplňové malty na projektu metro VA získány, mohou být užitečné na dalších projektech, které, jak pevně doufáme, budou v České republice navazovat.

ZÁVĚR

Jsou dvě možnosti, jak vybrat pro ražbu tunelu plnoprofilový tunelovací stroj.

První možností je, že ražbu strojem stanoví dokumentace pro výběr zhotovitele. Druhou alternativou je, když zadávací dokumentace ponechá rozhodnutí o způsobu ražby na zhotoviteli. Ten v nabídce uvede ražbu pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje, pokud ji považuje za vhodnější a výhodnější.

V případě prodloužení metra VA byla ražba pomocí zeminových štítů stanovena projektem, resp. investorem.

ING. DAVID CYROŇ, david.cyron@metrostav.cz,

ING. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,

ING. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,

ING. JAN PRAJER, jan.prajer@metrostav.cz,

ING. FILIP SCHIFFAUER, filip.schiffauer@metrostav.cz,

METROSTAV, a. s.,

ING. OTAKAR HASÍK, hasik@metroprojekt.cz,

METROPROJEKT Praha, a. s.

Recenzoval: doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

Pozn.: Při tvorbě tohoto článku bylo čerpáno z Manuálních příruček pro stroje S-609 a S-610 od firmy Herrenknecht

It could seem at first sight that mixing individual components is a trivial task. It is true that mixing is really easy. However, blending the whole grout to function correctly and meet all required properties is a task which would probably have set to work even experienced alchemists at Rudolph II court. Metrostav's workers had the opportunity to see it immediately on the commencement of the excavation and during the subsequent commencement of using the system of two-component filling grout. At the beginning of grouting, the grout started to exhibit properties which differed from those which had been reached during the laboratory testing. First of all the viscosity values were higher than required. Viscosity can be modified, for example, by adding water of a plasticising additive. In this way the viscosity values get to the required values, but it may happen that the resultant strength of the mixture is affected. And we could continue in this way further. Each change in one of the parameters can improve one of qualitative properties of the mixture concurrently with worsening of other parameters. In addition, the fact comes into play that the mixture quality is influenced not only by the proportion between individual components but also by the duration of mixing, performance characteristics of the mixing machine and, at last but not least, by variable properties of cement or bentonite. Because it is impossible in site conditions to change formulae for each new supply of the above-mentioned components, it is necessary to have a formula which will be sufficiently resistant to petty changes in properties these components naturally tend to.

Using two-component filling grout for filling the annular space between the lining and ground has been taken over from Japan and in Europe it is a technological operation which was introduced only in recent years. Problems attending the design for a correct formula, the system of mixing, long-distance pumping via a pipeline, but also temporary storing in silos mean that an optimum solution is a complex matter. The know-how which will be gathered during the course of the application of the two-component filling grout on the metro Line VA project can come in handy on other projects which, we hope, will follow in the Czech Republic.

CONCLUSION

There are two options for selecting a full-face tunnelling machine for driving a tunnel.

The first option is to have the mechanical excavation prescribed in tender documents. The other alternative is if tender documents allow the contractor to decide on the excavation method. The contractor will bid the excavation by the full-face tunnelling machine if he considers it to be more suitable and advantageous.

In the case of the extension of the metro Line VA, the excavation by means of EPB shields was prescribed by the design or the project owner.

ING. DAVID CYROŇ, david.cyron@metrostav.cz,

ING. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,

ING. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,

ING. JAN PRAJER, jan.prajer@metrostav.cz,

ING. FILIP SCHIFFAUER, filip.schiffauer@metrostav.cz,

METROSTAV, a. s.,

ING. OTAKAR HASÍK, hasik@metroprojekt.cz,

METROPROJEKT Praha, a. s.

Note: Guide books for machines S-609 and S-610 issued by Herrenknecht AG were used during the preparation of this paper

MĚSTSKÝ OKRUH V PRAZE – TUNELOVÝ KOMPLEX BLANKA RAŽENÝ TUNEL KRÁLOVSKÁ OBORA ZHODNOCENÍ PRŮBĚHU RAŽEB CITY CIRCLE ROAD, PRAGUE BLANKA COMPLEX OF TUNNELS KRÁLOVSKÁ OBORA MINED TUNNEL ASSESSMENT OF TUNNELLING PROCESSES

JAN KVAŠ, MILOSLAV SALAČ

ÚVODEM

Dne 10. 1. 2011 došlo k vyvezení posledního kubíku horniny z ražeb tunelu Královská obora, který svým rozsahem patří mezi nejrozsáhlejší podzemní díla v České republice. Celý tunelový komplex Blanka je vůbec největší česká civilní tunelová stavba, která kdy byla u nás realizována jako jeden stavební celek. Kombinace ražených a hloubených tunelů vytváří trasu městského okruhu v délce cca 5,5 km, z toho délka jen ražených tunelových trub včetně vzduchotechnických podzemních objektů je 6 km. Ražený tunel Královská obora má za sebou velmi pestrou etapu ražeb s mnohými technickými a technologickými problémy, etapu ražeb ve velmi složitých až dramatických geotechnických podmínkách, ve složitém území městské zástavby a v podmínkách nutných pro respektování společenských a životních podmínek dotčených obyvatel. V průběhu výstavby tunelu Královská obora bylo již publikováno několik článků jak v časopise Tunel, tak například ve sborníku u příležitosti konání 11. mezinárodní konference podzemních staveb v Praze v roce 2010 a dále v příspěvech na několika dalších tunelářských konferencích či seminářích. Nyní je čas na rekapitulaci, zhodnocení, zamyšlení a poučení se z jedné tunelářské etapy, která prověřila odbornou a profesionální kvalitu všech zúčastněných – zhotovitele a jeho subdodavatelů, projektanta a supervizora, investora a orgány státní správy. Úvodem je nutno

INTRODUCTION

10th January 2011 saw the last cubic metre of rock from the excavation of the Královská Obora tunnel hauled out. Through its extent, this tunnel belongs among the largest underground works in the Czech Republic. The entire Blanka complex of tunnels is the largest Czech civilian tunnel construction ever carried out in our country as a single construction package. The combination of mined and cut-and-cover or cover-and-cut tunnels makes up a 5.5 km long section of the City Circle Road route, comprising 6 km of mined tunnel tubes including underground ventilation structures. The Královská Obora mined tunnel passed through a very chequered tunnelling stage, posing many technical and technological problems, characterised by very difficult, even dramatic, geotechnical conditions, very complicated urban environment, in conditions necessary for respecting societal needs and needs of lives of residents affected by the works. Several papers have already been published during the course of the Královská Obora tunnel construction, both in TUNEL journal and, for example, in the proceedings of the 11th international conference Underground Construction, Prague, and contributions to several other conferences and seminars focused on tunnelling. Now the time is proper for recapitulating, assessing, contemplating and gathering the know how from one tunnelling stage which has tested the technical and

professional quality of all parties to the construction – the contractor with sub-contractors, the designer and supervisor, project owner and state authorities. To start with, it is necessary to note that the tunnelling operations on the Královská Obora tunnel were not free of serious problems. Removing and remedying them required lots of efforts and expensive procedures. Nevertheless, today, with retrospect, we can say that the tunnel excavation processes were brought off well and the completion of the excavation of spaces for ventilation structures belongs among excellent performances of the Czech tunnel construction industry. The authors draw readers' attention to the fact that the tunnel name "Královská Obora" has



Obr. 1 Celková situace
 Fig. 1 General project plan

poznámenat, že ražby na tunelu Královská obora nebyly bez závažných problémů, jejich odstraňování a napravování stálo mnoho úsilí a nákladných postupů. Nicméně s odstupem času lze říci, že ražby tunelu byly zvládnuty dobře a že vyrazení vzduchotechnických objektů patří mezi excelentní výkony českého tunelářství. Autoři upozorňují na skutečnost, že název tunelu Královská obora nebyl během výstavby běžně používán a mnohým čtenářům je tento tunel znám pod označením ŠPELČ, které jako pracovní vzniklo komprimací názvu úseku Špejchar – Pelc-Tyrolka.

REKAPITULACE VYRAŽENÝCH TUNELOVÝCH OBJEKTŮ

V následujícím přehledu jsou uvedeny veškeré vyražené objekty na tunelu Královská obora včetně doprovodných ražených objektů nutných pro vlastní provoz celého tunelového komplexu Blanka, a to mezi portály Letná a Troja.

1. Severní tunelová trouba (STT), 2230,3 m

- a) dvoupruh, plocha ve výrubu 118 m², resp. 138 m² (VZT kanál), délka 1661,3 m, z portálu Troja
- b) záliv, plocha ve výrubu 171 m², délka 54,5 a 52,8 m, z portálu Troja
- c) třípruh, plocha ve výrubu 168 m², resp. 198 m² (VZT kanál), délka 569,1 m, z portálu Letná (387 m) a Troja (182,1 m)

2. Jižní tunelová trouba (JTT), 2223,4 m

- a) dvoupruh, plocha ve výrubu 118 m², resp. 138 m² (VZT kanál), délka 1789 m, z portálu Troja
- b) záliv, plocha ve výrubu 171 m², délka 54,4 a 54,9 m, z portálu Troja
- c) třípruh, plocha ve výrubu 168 m², resp. 198 m² (VZT kanál), délka 434,4 m, z portálu Letná

3. Technologické propojky (TP)

- a) průchozí, plocha ve výrubu 57–69 m², celková délka 127,4 m, TP 13,15,16,18,19, z portálu Troja, TP 12 z portálu Letná
- b) průjezdné, plocha ve výrubu 78 m², celková délka 41,6 m, TP 14,17 z portálu Troja
- c) ostatní, TP 12a, pouze pro potřebu ražeb a následně uzavřena a vyplněna

4. Technologická centra (TGC)

- a) TGC 5, plocha ve výrubu 85 m², délka 27,6 m, z portálu Troja
- b) TGC 4, plocha ve výrubu 119 m², délka 71 m, z portálu Troja

5. Vzduchotechnické objekty (VZT)

- a) strojovna vzduchotechniky, plocha ve výrubu 287 m², délka 123,4 m, z portálu Letná
- b) vzduchotechnický kanál SO 03, plocha ve výrubu 50 m², délka 85,3 m, z portálu Letná
- c) vzduchotechnický kanál SO 04, plocha ve výrubu 39–99 m², délka 120,6 m, z portálu Letná
- d) vzduchotechnický kanál SO 07, plocha ve výrubu 72–90 m², délka 105,6 m, z portálu Letná
- e) vzduchotechnický kanál SO 08, plocha ve výrubu 72–90 m², délka 80,8 m, z portálu Letná
- f) vzduchotechnická šachta SO 09, plocha ve výrubu 89 m², hloubka 39,2 m
- g) vzduchotechnická šachta SO 10, plocha ve výrubu 56 m², hloubka 38,7 m

6. Ostatní (SOS výklenky, VZT požární kanály atd.)

Celkové množství rubaniny 755 130 m³

Celkové množství stříkaného betonu pro primární ostění 115 938 m³

not been commonly used during the course of the construction, therefore many readers know it under the name of ŠPELČ, which had originated as a working designation by abbreviating the name of the section: Špejchar – Pelc-Tyrolka.

SUMMARY OF THE COMPLETED TUNNEL EXCAVATION TASKS

The summary below contains all tunnel excavation tasks completed on the Královská Obora tunnel, including accompanying mined structures required for the operation of the Blanka tunnel itself, found between the Letná and Troja portals.

1. Northern Tunnel Tube (NTT); 2,230.3 m

- a) double-lane structure; excavated cross-sectional areas of 118 m² and 138 m² respectively (ventilation duct), 1,661.3 m long; driven from the Troja portal
- b) lay-bys; excavated cross-sectional area 171 m², 54.5 and 52.8 m long respectively, driven from the Troja portal
- c) triple-lane structure; excavated cross-sectional areas of 168 m² and 198 m² respectively (ventilation duct); 569.1 m long, driven from the Letná portal (387.0 m) and Troja portal (182.1 m)

2. Southern Tunnel Tube (STT); 2,223.4 m

- a) double-lane structure; excavated cross-sectional areas of 118 m² and 138 m² (ventilation duct); 1,789.0 m long, driven from the Troja portal
- b) lay-bys; excavated cross-sectional area 171 m², 54.5 and 52.8 m long respectively, driven from the Troja portal
- c) triple-lane structure; excavated cross-sectional areas of 168 m² and 198 m² respectively (ventilation duct); 434.4 m long, driven from the Letná portal

3. Cross passages (CP)

- a) pedestrian passages; excavated cross-sectional areas of 57 – 69 m², aggregate length of 127.4 m; CPs 13,15,16,18,19 driven from the Troja portal, TP 12 driven from the Letná portal
- b) vehicular passages; excavated cross-sectional areas of 78 m², aggregate length of 41.6 m, CPs 14,17 driven from Troja portal
- c) other, CP 12a – only for the need of tunnelling operations – subsequently closed and backfilled

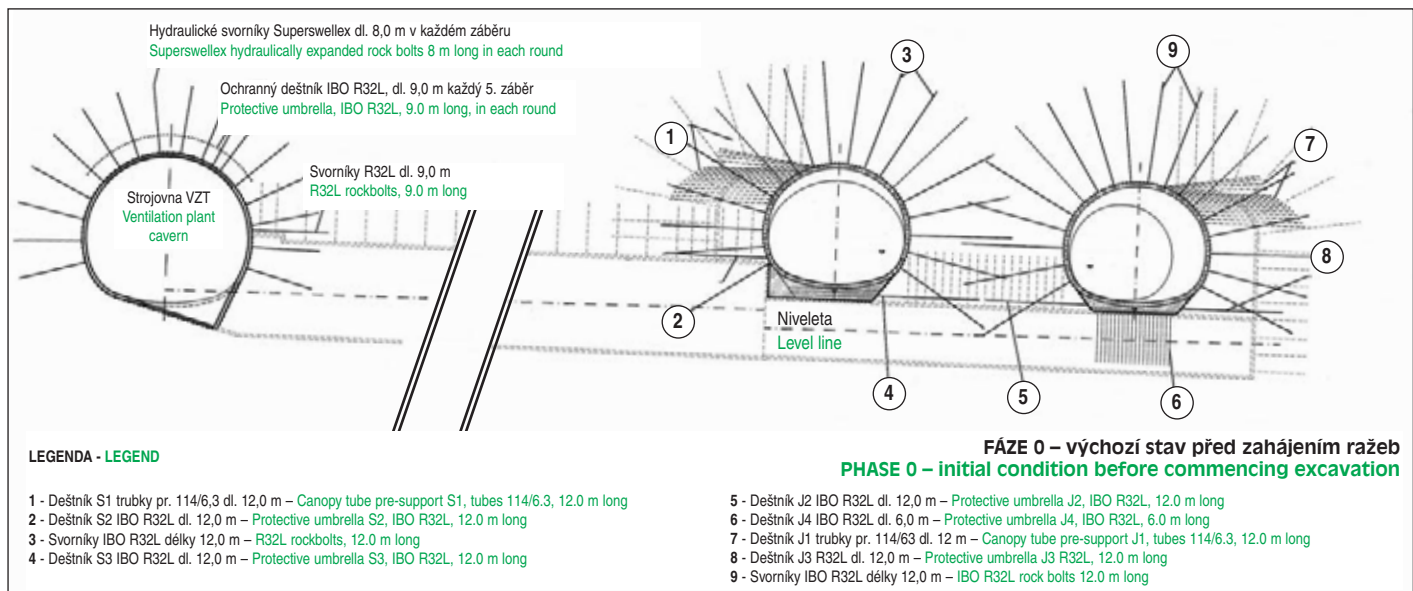
4. Technical Services Centres (TSC)

- a) TSC 5, excavated cross-sectional area of 85 m²; 27.6 m long; driven from the Troja portal
- b) TSC 4, excavated cross-sectional area of 119 m²; 71.0 m long; driven from the Troja portal

5. Ventilation structures

- a) ventilation plant cavern; excavated cross-sectional area of 287 m²; 123.4 m long; driven from the Letná portal
- b) ventilation duct SO 03, excavated cross-sectional area of 50 m²; 85.3 m long; driven from the Letná portal
- c) ventilation duct SO 04, excavated cross-sectional area of 39 – 99 m²; 120.6 m long; driven from the Letná portal
- d) ventilation duct SO 07, excavated cross-sectional area of 72 – 90 m²; 105.9 m long; driven from the Letná portal
- e) ventilation duct SO 08, excavated cross-sectional area of 72 – 90 m²; 80.8 m long; driven from the Letná portal
- f) ventilation shaft SO 09, excavated cross-sectional area of 89 m²; 39.2 m deep
- g) ventilation shaft SO 10, excavated cross-sectional area of 56 m²; 38.7 m deep

6. Other (SOS niches, fire ventilation ducts etc.)



Obr. 2 Výsledné projektové řešení propojení tunelů se strojovnou vzduchotechniky
Fig. 2 Resultant design solution for a connection between tunnels housing the ventilation plant

Celkové množství zabudované armatury do primárního osnění (rámy + sítě) 4188 t

Celkové množství kotev (HUS 248 648 m, IBO 115 513 m, event. ostatní 105 521 m) (obr. 2)

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ PRŮZKUMY A SKUTEČNĚ ZASTIŽENÉ GEOLOGICKÉ POMĚRY

Základem pro představu o geologických poměrech v trase tunelu Královská obora bylo vyrazení průzkumných štol o celkové délce 2150 m v letech 2002 až 2005. Během těchto ražeb byl prováděn podrobný geotechnický průzkum a monitoring, výsledky byly podkladem pro vypracování závěrečné zprávy v 3/2006.

Skutečně zastižené geologické poměry byly podrobně popsány v již publikovaných článcích – viz Úvod. Pokud budeme chtít jednoduše porovnat předpoklady a skutečnost, lze konstatovat, že se dobře kryjí z pohledu rozsahu a typů geologických poloh. Skutečně byla zastižena souvrství pražského ordoviku se zastoupením dobrotivských, libeňských, řevnických a letenských vrstev. Disproporce mezi předpoklady a skutečností vyplývaly především z horší kvality horninového prostředí a z chování horninového masivu v tomto prostředí. Týkalo se to především dobrotivských vrstev v oblasti pod Stromovkou a částečně i letenských vrstev u portálu Letná. Tektonická degradace dobrotivských vrstev pod Stromovkou se zvodnělým a extrémně nízkým nadložím byly rozhodujícími vlivy při vzniku mimořádných událostí. V dané lokalitě byla disproporce mezi předpoklady a skutečností naprosto zjevná a kromě likvidace vlastních mimořádných událostí vyvolala nutnost použití velmi náročných a rozsáhlých sanačních opatření, která byla nezbytná pro vylepšení kvality horninového prostředí a pro realizovatelnost vlastních tunelových trub vůbec.

Důležité a s respektem očekávané bylo chování horninového masivu v oblasti letenských vrstev pod hustou obytnou zástavbou na Letné. V tomto území byly navrženy a následně raženy ty největší tunelové profily a nejsložitější kombinace průniků jednotlivých tunelových trub a vzduchotechnických objektů. Představy o kvalitě horninového prostředí bylo možno mít jen na základě výsledků z vrtného průzkumu a zkušeností z ražeb v obdobných podmínkách na jiných tunelových stavbách. Kromě kvalitní horninové stability bylo nutné zajistit co nejmenší deformační ozvěny z ražeb na povrch a na obytnou zástavbu na něm tak, aby nedocházelo k významnějším poškozením objektů a ke zhoršení jejich funkčnosti obydlí. Ve skutečnosti se geologické podmínky

Aggregate volume of muck 755,130 m³

Aggregate volume of sprayed concrete for primary linings 115,938 m³

Aggregate amount of reinforcement used for the primary lining (arches + welded net) 4,188 t Aggregate length of anchors (HUS 248,648 m, IBO 115,513 m, others 105,521 m) (see Fig. 2)

ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATIONS AND ACTUALLY ENCOUNTERED GEOLOGICAL CONDITIONS

The basis for developing the notion of geological conditions along the Královská Obora tunnel route was provided by the excavation of exploratory galleries at the aggregate length of 2,150 metres during 2002 through 2005. The results of the geotechnical investigation and monitoring which was carried out during the drives were the basis for the work on the Final Report in March 2006.

The actually encountered geological conditions were described in detail in previously published papers – see the Introduction. If we wish to compare the assumptions and reality in a simple way, it is possible to state that they well agreed with each other in terms of the extent and types of individual geological positions. The Prague Ordovician formation containing the Dobrotiva, Libeň, Řevnice and Letná strata were really encountered. Disproportions between assumptions and the reality followed, first of all, from worse quality of the ground environment and from the behaviour of the ground mass in this environment. This applied most of all to the Dobrotiva strata in the area of Stromovka Park and, partially, even the Letná strata at the Letná portal. Tectonic degradation of the Dobrotiva strata under Stromovka and the water-bearing and extremely shallow overburden were the deciding effects resulting into emergencies. The disproportion between assumptions and reality was totally obvious in this particular location. Apart from the liquidation of the emergencies themselves, the disproportion brought about the necessity of applying very demanding and extensive rehabilitation measures, which were necessary for improving the quality of the ground environment and for technical viability of the tunnel tubes in general.

An important moment which was expected with respect was the behaviour of the ground mass in the area of the Letná strata under the dense residential development in Letná. The largest tunnel profiles and the most complicated combinations of junctions between individual tunnel tubes and ventilation structures were designed to be driven from and subsequently within this area. Notions of the quality of the ground environment could be developed only on the basis of results of the borehole survey and the experience obtained during the

projevily jako velmi příznivé, umožňující realizovat projektem stanovené postupy ražeb a instalaci primárního ostění, nedošlo k výrazným stabilitním a deformačním problémům bezprostředně ohrožujícím obytnou zástavbu.

V dokumentaci pro stavební povolení (DSP) a následně v dokumentaci pro zadání stavby (DZS) byly podmínky ražeb určeny typem a rozsahem technologických tříd NRTM (TT). Ve sborníku pro konferenci podzemních staveb v Praze 2010 je uvedena tabulka s předpokládaným a se skutečně zastiženým rozsahem TT. Obecně lze konstatovat, že oproti předpokladům došlo při realizaci k posunu k horším třídám, nejvyšší TT 2 nebyla vůbec zastižena, ale naopak bylo nutné zavést TT 5am (modifikovanou) pro ražby pod Stromovkou, která v DZS nebyla vůbec uvažována (obr. 3).

TECHNOLOGIE RAŽEB TUNELŮ

Tunel Královská obora je svým rozsahem, náročností v trase a množstvím použitých profilů velmi komplikované podzemní dílo. Již na začátku přípravných a později i projektových prací byla jednoznačně stanovena základní technologie ražeb – Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM). Tato metoda je dnes již řazena mezi konvenční tunelářské technologie a pro tento typ ražených tunelů je vhodná díky své adaptabilitě v různých geologických prostředích a v měnících se podmínkách během ražeb. Ale přece jenom vlastní délka úseku (2x2230 m) evokovala možnost zahrávat si s použitím TBM. Byly provedeny základní analýzy nasazení TBM, jejich výhod a nevýhod a nakonec rozhodnutí o použití NRTM před realizací bylo definitivní a nevratné a celý tunelový labyrint byl vyražen touto metodou. Během celé realizace ražeb byla základem při rozhodování o postupech, zařizování od TT NRTM, volbě doplňujících opatření atd. velmi rozsáhlá observace všech výsledků měření a sledování. Na přesnosti, pečlivosti a technické erudici vyhodnocování této observace závisela technická, technologická a statická řešení především v místech se zvýšenými geotechnickými riziky a geologickými problémy.

V časopise Tunel č. 2/2010 je podrobně popsán průběh ražeb hlavních dopravních tunelových trub – STT a JTT do prorážek kalot v zimě 2010 včetně průběhu mimořádných událostí a jejich likvidací. Od té doby byly STT a JTT vyraženy ve zbylých částech profilů a byl vyražen celý komplex vzduchotechnických objektů, kterým vévodí strojovna vzduchotechniky jako největší vyražený prostor na celém komplexu Blanka s výrubem 287 m².

Jedním z hlavních principů NRTM je možnost rozčleňovat tunelové profily na dílčí výrubu, a to s ohledem na velikosti výrubů a zastiženou geologickou podmínku. Jednotlivá členění a velikosti



Obr. 3 Čelba dvoupruhového tunelu se zastiženou polohou křemenů při ražbě pod Vltavou

Fig. 3 Excavation face of the double-lane tunnel with a quartzite layer encountered during the course of driving under the Vltava River

course of driving other tunnels. Apart from good quality, stable ground conditions, it was necessary to ensure the lowest possible deformation response of the surface and residential buildings on it so that more significant damage to buildings and worsening of their living function were prevented. In reality, the geological conditions proved to be very favourable, allowing the excavation procedures prescribed by the design and the installation of the primary lining to be carried out; no significant stability-related and deformational problems directly threatening residential buildings were experienced.

In the final design and subsequently in the tender documents, the excavation conditions were determined by means of types and ranges of the NATM excavation support classes. A table is presented in the Proceedings of the conference Underground Construction 2010, Prague, containing the assumed and actually encountered extent of the individual classes. It is generally possible to state that, compared with the assumptions, ground quality was shifted toward worse excavation support classes during the excavation; the highest quality class 2 was never encountered and, even the opposite, class 5am (modified), which had not been taken into account, had to be introduced for the excavation under Stromovka Park (see Fig. 3).

TUNNEL EXCAVATION TECHNIQUE

The Královská Obora tunnel is a very complicated underground construction as far as its extent, complexity of the route and the number of cross-sections used are concerned. The basic excavation technique – the New Austrian Tunnelling Method (NATM) was specified at the very beginning of the planning and later also in the design work. This method, which is today categorised as a conventional tunnelling technology, is suitable for this type of mined tunnels owing to its adaptability to various geological environments and changing conditions during the course of the excavation. Nevertheless, the length of the section (2 x 2,230 m) evoked a possibility of playing with the idea of using a full-face tunnelling machine. Basic analyses of the deployment of these machines, their advantages and disadvantages, were conducted. Eventually the decision to apply the NATM, made before the works commencement, became final and irreversible. The entire tunnel labyrinth was eventually driven using this method. Very extensive observation of all results of measurements and monitoring provided the basis for making decisions on the procedures, categorisation into the NATM excavation support classes, selection of supplementary measures etc. during the course of the entire tunnelling stage. The technical, technological and structural solutions, first of all in locations with increased geotechnical risks and geological problems, depended on accuracy, thoroughness and technical erudition.

TUNEL journal issue No. 2/2010 presents a detailed description of the course of the excavation of the main tunnel tubes to carry traffic – the NTT and STT, till the breakthroughs of top headings in winter 2010, including the course of emergencies and their liquidation. Since that time, the NTT and STT excavation was completed in the remaining parts of the cross-sections and the excavation for the entire complex of ventilation structures was completed, with the ventilation plant cavern which is the largest space excavated within the whole Blanka complex having the excavated cross-sectional area of 287 m².

One of the main principles of the NATM is the possibility of dividing tunnel profiles into partial headings, taking into consideration the sizes of excavation faces and the geological conditions encountered. Individual excavation sequences and sizes of individual partial headings had to bring into accord requirements for the application of pieces of the equipment set and requirements for acceptable deformation responses. A horizontal excavation sequence (top heading, bench and invert) was originally proposed for double-lane tunnels including lay-bys and other tunnel profiles in the final design, while a vertical sequence (side drifts and central core) was proposed for triple-lane tunnels throughout their lengths,



Obr. 4 Průhled ze spojovacího kanálu do STT a dále pod JTT
Fig. 4 A view down a connecting duct to the NTT and further under the STT

jednotlivých dílčích výrubů musely skloubit požadavky na použití mechanismů strojní sestavy a na přijatelné deformační odezvy. V DZS bylo pro dvoupruhové tunely včetně zálivů a pro ostatní tunelové profily VZT objektů navrženo vodorovné členění a pro třípruhové v celé délce svislé bez ohledu na zařídění do TT z důvodu zajištění co nejmenší deformační odezvy ražeb na povrchovou zástavbu. Ve skutečnosti veškeré ražby na tunelu Královská obora proběhly vesměs s použitím vodorovného členění, pouze na dvoupruhových tunelech STT a JTT zaříděných do TT 5am a při ražbách zálivů za Šlechtovu restauraci bylo použito svislé rozčlenění profilu kalot. Z tohoto pohledu došlo k nejzásadnější změně členění na třípruhových tunelech. Tato změna byla velmi podrobně prověřena statickým výpočtem především z hlediska konvergencí v tunelových trubách a deformací na povrchu s použitím korelace geotechnických parametrů zastižených geologických poměrů. Observace ražeb pod Letnou s využitím podrobných výsledků geotechnického monitoringu kontrolovala a korigovala téměř každý metr tunelových trub a při jakémkoli náznaku rizika bylo přikročeno k úpravě technologického postupu například uzavíráním celého profilu tunelu, překotvením rizikové zóny, zkrácením záběru, úpravou trhacích prací atd. Výsledky se dostavily ve formě udržení požadovaných deformačních parametrů na velmi příznivých hodnotách bez nutnosti zásadním způsobem omezovat obyvatelnost povrchové zástavby. To je obrovský úspěch při vyražení tak náročného tunelového komplexu s tak obrovskými profily a s tak odvážným a originálním řešením průniku VZT kanálu s třípruhovými trubami STT a JTT (obr. 4, 5, 6).



Obr. 5 Kaverna 2 – pohled na vyraženou strojovnu vzduchotechniky s boční rozrážkou kanálu 8

Fig. 5 Cavern 2 – a view of the completed excavation of the ventilation plant cavern with a side opening drift for duct No. 8



Obr. 6 Pohled z STT do spojovacího kanálu 4
Fig. 6 A view from the NTT down the connecting duct No. 4

irrespective of the NATM class, with the aim of securing the smallest possible deformational response of existing buildings to the excavation. In reality, all tunnelling on the Královská Obora tunnel were carried out mostly using the horizontal sequence, with the exception of double-lane NTT and STT tunnels categorised as class 5am and during the course of excavation of lay-bys behind Šlechtova restaurant, where the vertical sequence was applied to the top headings. From this point of view, the most substantial change in the excavation sequence was applied to triple-lane tunnels. This change was verified in a very detailed way by a structural analysis, first of all as far as convergences in the tunnel tubes and ground surface deformations were concerned; the correlation of geotechnical parameters of the geological conditions encountered was applied in the analysis. The observation of the excavation under Letná using detailed results of geotechnical monitoring checked and corrected nearly each metre of the tunnel tubes. In nearly each case of a sign of a risk, the technological procedure was adjusted, for example by closing the whole tunnel profile lining, additional anchoring within the risk zone, reducing the round length, modifying the blasting procedure etc. Results came in the form of maintaining favourable values of the required deformational parameters without the necessity of limiting the inhabitability of existing buildings. This is a great success in driving such the demanding complex of tunnels with so large profiles and so daring and original solution of the junction of the ventilation duct with triple-lane NTT and STT tunnel tubes. (see Figures 4,5,6)

Taking into consideration the composition and quality of the ground environment, blasting was used for rock disintegration, with the exception of locations with lower rock quality existing in

Vzhledem ke skladbě a kvalitě horninového prostředí bylo dominantně používáno rozpojování hornin pomocí trhacích prací, pouze v místech se sníženou kvalitou v poruchových pásmech a s extrémně nízkým nadložím, kde geologické podmínky vyžadovaly zatřídění ražeb do TT 5a a 5am, bylo nutné použít rozpojování strojní pomocí tunelbagru. V některých úsecích byly metody rozpojování kombinovány tak, aby ražba byla co nejbezpečnější. Při používání trhacích prací především pod zástavbou na Letné bylo nutné dodržovat předepsané max. hodnoty kmitání z projektové dokumentace, které se pohybovaly v rozmezí 5–15 mm/sec. Tyto max. hodnoty měly zabránit větším poškozením objektů a dodržet normové hygienické limity. Znamenalo to však upravit používání trhacích prací. Postupně se zkoušelo několik úprav – presplitting, dělení čelby při odstřelech atd., avšak bez zásadnějšího zlepšení. Nakonec bylo rozhodnuto zaměnit neelektrický roznět za elektronický s rozbuškami I-kon. Vzhledem k tomu, že se jednalo o první provozní použití v České republice, byla nejdříve provedena počítačová simulace, která prokázala, že je možné provést výlom celé kaloty na jeden odstřel, zvýšit dílčí nálože až o 250 % a zvětšit záběr až na 2,8 m, to vše při snížení seismického zatížení objektů o 30 %. Následně proběhly zkoušky „in situ“, které potvrdily předpoklady simulace a elektronické rozbušky I-kon se staly součástí provádění trhacích prací.

Pravidelná měření účinků trhacích prací zajišťoval jak zhotovitel, tak i investor. Co se však nedalo měřit, byly subjektivní hlukové a seismické vjemy obyvatel na Letné, které vyústily v zákaz používání trhacích, vrtacích a bouracích prací v nočních hodinách. To mělo velký vliv na plánovanou výkonnost ražeb, a tím i na posun ukončení ražeb.

Páteřními mechanismy strojní sestavy po celou dobu ražeb tunelu Královská obora byly:

- vrtací vůz AC ROCKET BOOMER L2C a E2C – total,
- tunelbagry Liebherr R934 a R944,
- kolový nakladač VOLVO BM L120 a L180,
- kolové dampry VOLVO A25C 4 x 4 a A25D 6 x 6,
- pojízdné zdvihací pracovní plošiny AC DC 16/HL 230MB,
- pojízdný pístový manipulátor MEYCO POTENZA.

ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ

Dokončení ražeb na hlavních tunelových troubách a objektech:

- STT – prorážka na kalotě 12. 1. 2010, dokončení ražeb 20. 10. 2010
- JTT – prorážka na kalotě 16. 2. 2010, dokončení ražeb 25. 7. 2010
- Strojovna VZT – dokončení ražeb 3. 8. 2010
- Ostatní VZT objekty – dokončení ražeb 10. 1. 2011

Celková doba ražeb na tunelu Královská obora – 07/2007 až 01/2011, tj. téměř 42 měsíců.

Celková délka všech vyražených objektů 5210 m, tzn. že měsíčně se v průměru vyrazilo téměř 130 m tunelových profilů.

*ING. JAN KVAŠ, jan.kvas@metrostav.cz,
ING. MILOSLAV SALAČ, miloslav.salac@metrostav.cz,
METROSTAV, a. s.*

Recenzoval: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.

weakness zones and locations with extremely shallow overburden where geological conditions required the excavation to be categorised as the NATM classes 5a and 5am, where a tunnel excavator had to be applied. In some sections the disintegration techniques were combined with the aim of achieving as safe excavation as possible. When blasting was being applied, first of all under buildings in Letná, it was necessary to observe the peak particle velocity limits set by the design, ranging from 5 to 15 mm per second. These maximum values were intended to prevent bigger damage to structures and observe sanitary limits prescribed by standards. But it meant that the blasting procedures had to be adjusted. Several modes were tried in succession – presplitting, dividing the excavation face when blasting etc., without any more significant improvement. Eventually the decision was made that non-electric firing would be replaced with I-kon electronic detonators. Since this was the first case of the use in operation in the Czech Republic, the first step was conducting a computer simulation, which proved that it was possible to excavate the whole top heading in one blasting step, to increase partial charges by up to 250 per cent and extend the round length up to 2.8 m; all of that with the seismic load on structures reduced by 30 per cent. Subsequent in-situ tests confirmed the assumptions obtained by the simulation; electronic detonators I-kon became part of the blasting operations.

Regular measurements of effects of blasting operations were conducted by both the contractor and the project owner. What could not be measured was the subjective perception of noise and vibration by Letná residents, which resulted in a ban on blasting, drilling and breaking of structures during night hours. All of that seriously influenced the planned efficiency of the excavation and resulted in a delay of the excavation completion.

The following main pieces of mechanical equipment set were used throughout the excavation of the Královská Obora tunnel:

- AC ROCKET BOOMER L2C and E2C – total drilling rigs
- Liebherr R934 and R944 tunnel excavators
- VOLVO BM L120 and L180 wheeled loaders
- VOLVO A25C 4 x 4 and A25D 6 x 6 wheeled dumpers
- AC DC 16/HL 230MB travelling hoisting platforms
- MEYCO POTENZA travelling piston manipulator

FINAL SUMMARY

The completion of excavation for the main tunnel tubes and structures:

- NTT – top heading breakthrough on 12th January 2010, completion of excavation on 20th October 2010
- STT – top heading breakthrough on 16th February 2010, completion of excavation on 25th July 2010
- Ventilation plant cavern – completion of excavation on 3rd August 2010
- Other ventilation structures – completion of excavation on 10th January 2011

The total time of excavation on the Královská Obora tunnel: July 2007 – January 2011, i.e. nearly 42 months.

The total length of all completed tunnels is 5,210 m, which means that nearly 130 m of tunnel profiles were excavated per month.

*ING. JAN KVAŠ, jan.kvas@metrostav.cz,
ING. MILOSLAV SALAČ, miloslav.salac@metrostav.cz,
METROSTAV, a. s.*

LITERATURA / REFERENCES

SATRA, PUDIS, SG-GT Podrobný geotechnický průzkum a monitoring. Závěrečná zpráva, 03/2006

Kvaš, J., Zelenka, M., Salač, M. Ražené tunely jako součást tunelového komplexu Blanka. *Tunel*, č. 2, 2010

Kvaš, J., Škrábek, J., Salač, M. *Královská obora Tunel*, 11th International Conference Underground Construction, Transport and City Tunnels, Proceedings, Prague 2010

LÄNSIMETRO – ZKUŠENOSTI Z RAŽEB V HELSINKÁCH

LÄNSIMETRO – EXPERIENCE FROM TUNNELLING IN HELSINKI

VÁCLAV PAVLOVSKÝ, ALEŠ GOTHARD

V září roku 2010 zahájili pracovníci divize 5, Metrostav, a. s., ražby trojice přístupových tunelů projektu Länsimetro. Na přelomu roku 2010 a 2011 společnost uspěla v soutěži na výstavbu 1,3 km dlouhého úseku vlastních tratových tunelů, jehož realizace právě úspěšně započala. Metrostav, a. s., pracuje ve Finsku ve sdružení s místní společností Destia Oy. Pracovníci divize 5 jsou zodpovědní za vlastní ražby tunelů, vystrojení výrubu včetně výstavby definitivního ostění a za nedílné injektážní práce. Partnerovou hlavní úlohou je odtěžení a odvoz rubaniny, v případě přístupových tunelů příprava hloubených portálových úseků a ražba tří větracích šachet tratového úseku.

Projekt Länsimetro – západní metro je nové dopravní spojení mezi městy Helsinky a Espoo s plánovanou přepravní kapacitou 100 000 cestujících za den a přímo navazuje na jedinou provozovanou trasu. Vzrůstající nároky na přepravu osob vyžadují vzájemné propojení sousedních městských aglomerací. Stávající páteřní linka metra s přepravní kapacitou 50 mil. cestujících/rok je dlouhá 21 km. Trasa byla budována v letech 1969–1982 a prodloužena na východ roku 1998. Po svém dokončení bude celá linka metra (včetně své současné části) plně automatizovaná, tj. vlaky metra budou linkou projíždět zcela bez strojvedoucích.

Nová trasa je vyprojektována v délce 14 km z Ruoholahti v Helsinkách do stanice Matinkylä v Espoo. Prodloužení metra je v celé délce vedeno pod povrchem dvojicí jednokolejných tratových tunelů, které propojují 7 nových stanic. Pro zajištění ventilace podzemí bude vyraženo 15 větracích šachet. Celá trasa je pro ražby rozdělena na 10 úseků, ke kterým je nutné vyrazit 9 přístupových tunelů o souhrnné délce 3,5 km (obr. 1). Předpokládaný celkový objem vytěžené horniny je 3 mil. m³. Odhadovaná výše nákladů je 714 mil. Eur. Na financování projektu se z 30 % podílí stát, zbytek je rozdělen poměrnou délkou

In September 2010 workers of Division 5 of Metrostav a. s. started to drive three access tunnels for the Länsimetro project. At the end of 2010 the company won a contract for the construction of a 1.3 km long section of running tunnels of the metro; the works have successfully commenced. Metrostav a. s. operates in Finland as a member of a consortium, jointly with a local company Destia Oy. Employees of Division 5 are responsible for driving the tunnels, installing the excavation support including the final lining and performing inseparable grouting. The main task for Metrostav's partner is loading and removing the muck and, in the case of the access tunnels, preparing cut-and-cover portal sections and sinking three ventilation shafts on the track section.

The Länsimetro – Western Metro project provides a new transportation link between Helsinki and Espoo, with the planned carrying capacity of 100,000 passengers a day. It directly links to the only operating metro line. Increasing demands for transport of persons require the neighbouring agglomerations to be interconnected. The existing backbone metro line with the annual carrying capacity of 50 million passengers is 21 km long. The route was constructed during 1969 – 1982 and was extended eastward in 1998. After its completion, the whole metro line (inclusive of its existing part) will be fully automated; trains will pass along the line without engine drivers.

The new route is designed at the length of 14 km, from Ruoholahti, Helsinki, to Matinkylä station in Espoo. The metro line extension is led throughout its length underground, through a pair of single-track running tunnels, interconnecting 7 new stations. Fifteen ventilation shafts will be



Obr. 1 Přehledná mapa – Länsimetro

Fig. 1 Synoptical map – Länsimetro



Obr. 2 Portál přístupového tunelu Myllykallio
Fig. 2 Myllykallio access tunnel portal

trasy mezi Helsinky 28 % a Espoo 72 %. Rozhodnutí o zahájení výstavby bylo učiněno v roce 2006 a termín uvedení metra do provozu je stanoven na podzim 2014. Během přípravné a projekční fáze na projektu pracovalo až 400 projektantů. Největší infrastrukturní projekt ve Finsku zastřešuje společnost Länsimetro Oy.

Trojice úpadních přístupových tunelů Lauttasaari (405 m), Myllykallio (283 m) a Koivusaari (567 m) sloužící pro rozražení vlastních tratových tunelů metra se nachází v centru rezidenční zástavby na ostrově Lauttasaari (obr. 2). Tunely mají příčný profil od 31 m² do 58 m² s výškou skalního nadloží od 5 do 40 m. Z geologického hlediska se jedná o ražby v tvrdých skalních horninách, převážně žulách a pod hladinou podzemní vody. Kvalita horninového masivu je obecně velice dobrá, pro tunelářské práce velmi příznivá. Je však různorodá, od pevných celistvých formací až po značně rozpukané lokální poruchy drénující podzemní vodu, někdy také s proplásky sedimentů.

Pro hodnocení kvality horninového masivu se používá finská klasifikace *Finnish engineering geological classification system (RG) by Korhonen 1974*. Jde o objektivní popis vlastností masivu skládající se ze:

1. stupně navětrání, velikosti minerálů a jejich zastoupení,
2. mineralogické tvrdosti,
3. rozpukanosti,
4. výplně puklin.

Tratový úsek LU6E – Karhusaari dlouhý 1,3 km připojuje metro od hranice města Helsinky a pokračuje směrem na západ do Espoo. Součástí ražeb je dvojice jednokolejných tratových tunelů s osovou vzdáleností kolem 25 m. Běžný profil tunelů je 36,2 m² (obr. 3). Tunelové trouby jsou vzájemně spojeny propojkami po cca 200 m. V úseku jsou také vyprojektovány dvě jednolodní technologické komory s raženým profilem 318 m², každá délky 35 m a také trojice svislých větracích šachet obdélníkového

sunk to ventilate the underground. The whole route is divided for tunnelling purposes into 10 sections, requiring 9 access tunnels to be driven at the aggregate length of 2.5 km (see Fig. 1). The anticipated total volume of muck amounts to 3 million m³. The estimated cost is EUR 714 million. Thirty per cent of the project funding is provided by the state; the remaining part is divided proportionately to the respective lengths of the route between the city of Helsinky (28 %) and Espoo (72 %). The decision on the commencement of the construction was made in 2006; the deadline for bringing it into service is the autumn of 2014. Up to 400 designers worked on the design during the planning and design phases. The largest infrastructural project in Finland is managed by Länsimetro Oy.

The three downhill gradient access tunnels Lauttasaari (405 m), Myllykallio (283 m) and Koivusaari (567 m), providing access to points of attack on the running tunnels of the metro, are found in the centre of a residential development on Lauttasaari island (see Fig. 2). The cross-sectional areas of the tunnels vary from 31 m² to 58 m², the rock cover is 5 to 40 m high. From the geological point of view, the excavation passes through hard rock, mostly granite, and under the water table. The quality of the rock mass is generally very good, favourable for tunnelling. However, it is variable, ranging from sound compact formations to significantly fissured local failures draining ground water and sometimes containing sedimentary intercalations

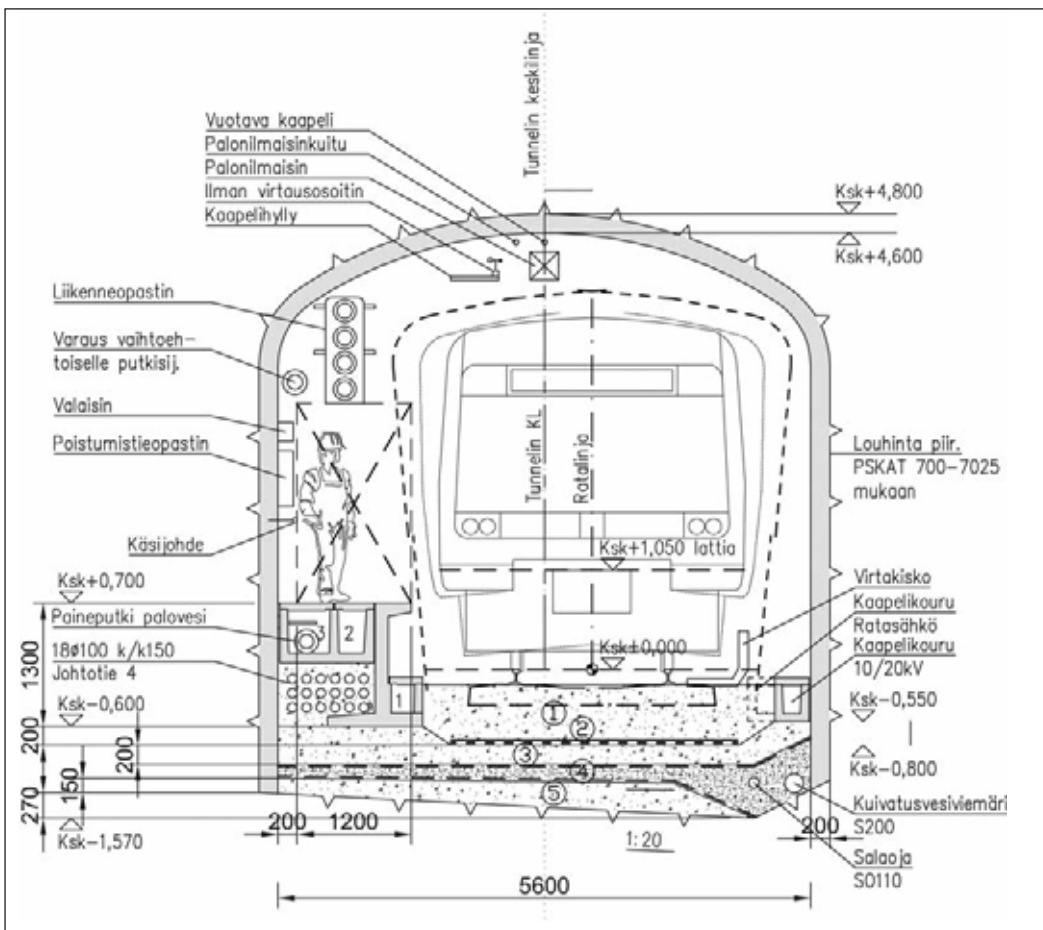
Quality of rock mass is assessed using the Finnish engineering geological classification system (RG) by Korhonen 1974. It provides an objective description of properties of rock mass, consisting of:

1. the degree of weathering, sizes of minerals and their representations
2. mineralogical hardnesses
3. degree of fracturing
4. filling of joints

The 1.3 km long track section LU6E – Karhusaari connects the metro from the border of the city of Helsinky and proceeds westward to Espoo. Part of the tunnelling contract is a pair of single-track running tunnels with the distance between centres of about 25 m. The common tunnel profile area is 36.2 m² (see Fig. 3). The tunnel tubes are interconnected by cross passages roughly every 200 m. Two single-vault technical services chambers are designed for this section. The excavated cross-sectional area of each chamber is 318 m², the length is 35 m. In addition, three vertical ventilation shafts with 9.4 x 6.5 m rectangular ground plans are parts of the job. The route of this section, in the direction from the east, is partially led under the sea; then it crosses an express highway and, at its end, passes under foundations of a Nokia administrative complex (see Fig. 4). The overburden height varies from 35 m to a mere 15 m under the sea bottom. The excavation of the tunnel tubes proceeds slightly uphill to both sides from the point of attack provided by the 280 m long Karhusaari access tunnel.

The mined sections of the Länsimetro project are a typical example of the Drill&Blast tunnelling method, which is exceptionally suitable for Scandinavian geological conditions. It is a cyclic method of disintegrating rock by blasting, proceeding full-face with the excavation rounds up to 6 m long. The zone ahead of the face is stabilised with cement grout (pre-grouting) up to the distance of several round lengths. The single-shell final lining of the tunnel consists of rock bolts and shotcrete.

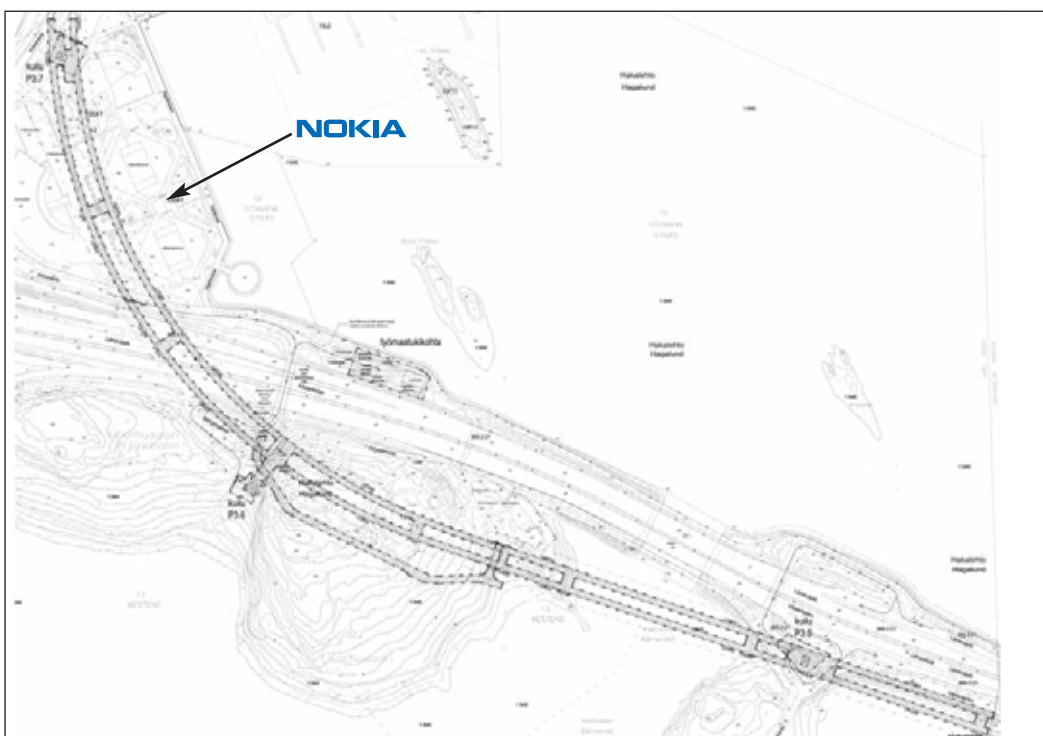
Blasting operations are especially thoroughly monitored, first of all in the case of the excavation of the access tunnels,



Obr. 3 Vzorový příčný řez traťového tunelu
Fig. 3 Typical running tunnel cross-section

půdorysu 9,4x6,5 m. Trasa úseku je směrem od východu zčásti vedena pod mořem, dále protíná rychlostní komunikaci a na svém konci podchází základy administrativního komplexu společnosti Nokia (obr. 4). Výška nadloží se pohybuje od 35 m a klesá až na cca 15 m pod mořským dnem. Tunelové trouby jsou na obě strany

maximum round lengths in terms of the drilling technology, each excavation face has to be approached individually. If necessary, round lengths have to be reduced even to 2 m, taking into consideration the charge weight limits. Emulgite type of explosives is used for the rock disintegration, both in the form supplied in cartridges and in the form of pumped emulsion. Explosives are initiated by non electric detonators. Cuts are straight with four relief wells 102 mm in diameter; common diameters of production boreholes range from 45 to 54 mm. The tolerance specified in the design for unavoidable overbreak is + 400 mm for side walls and the crown and +600 mm for the tunnel bottom (see Fig. 6). Muck is removed to a central stockpile, where each truck passes a quality check, securing that only disintegrated rock containing no contaminants (sediments, shotcrete rebound) is used for deposition in the sea. When the muck has been removed, it is necessary to clear the excavated surface



Obr. 4 Situace traťového úseku LU6E
Fig. 4 Track section LU6E layout

rozráženy mírně dovrchní ražbou z jediného, 280 m dlouhého, přístupového tunelu Karhusaari.

Ražené části projektu Länsimetro jsou typickou ukázkou tunelovací metody Drill&Blast, která je mimořádně vhodná do skandinávských geologických podmínek. Jedná se o cyklickou metodu rozpojování horniny pomocí trhacích prací, s pobíráním čelby v celém profilu a délkou jednotlivých záběrů až 6 m. Předpolí čelby je v předstihu několika záběrů sanováno cementovými injektážemi – pregroutingem. Jednoplášťové definitivní ostění tunelu se skládá ze svorníkové výstroje a stříkaných betonů.

Trhací práce jsou zvláště pečlivě sledovány, a to zejména v případě ražeb přístupových tunelů, které jsou raženy pod hustou zástavbou s postupně narůstající výškou nadloží. Před zahájením ražeb byla provedena pasportizace budov nad trasou ražených tunelů.

Pracovní doba pro provádění trhacích prací je od 7:00 do 22:00 pouze v pracovních dnech. Rizikovou analýzou provedenou před vlastním zahájením trhacích prací je vymezena oblast dotčená výstavbou. Pro každý objekt je stanoveno dovolené zatížení seismickými účinky (kmitání mm/s) trhacích prací. Tyto hodnoty jsou online monitorovány a výsledky jsou automaticky umístovány na internet a odesílány formou SMS objednateli a dodavateli staveb. Velmi důležitá je proto přesnost odvtřání produkčních vrtů, správná konstrukce nálože a zejména časování jednotlivých náložek (obr. 5). I když geologické podmínky umožňují maximální záběr z hlediska technologie vrtání, je nutné ke každé čelbě přistupovat individuálně a v případě potřeby i zkracovat záběry vzhledem k mezní náloži až na 2 m. Pro rozpojení horniny jsou používány jak náložkované trhavy typu Emulgit, tak začerpávané emulze. K počínání náloží je používáno neelektrických roznětů. Zálomy jsou přímé se čtyřmi odlehčovacími vrty průměru 102 mm, běžné průměry produkčních vrtů jsou v rozsahu 45–54 mm. Projektem stanovená tolerance technologického nadvýlomu je + 400 mm ve stěnách a stropu tunelu a + 600 mm v jeho dně (obr. 6). Rubanina je odvážena na centrální skládku, kde každý nákladní automobil projde kontrolou kvality a pouze rozpojená hornina bez nečistot (sediment, spad ze stříkaných betonů) může být použita pro zásyp do moře. Po odtěžení je nutné výrub strojně začistit speciálním trnem, který je upnut na výložníku bagru. Používání sbíjecích kladiv není dovoleno.

Ražby předchází vrtání čtyř protilehle umístěných průzkumných předvrtů délky 25 m. Během vrtání je sledována a zaznamenávána penetrační rychlost vrtného nářadí, technologický výplach, eventuálně poloha a množství zastížené podzemní vody. V každém vrtu je provedena zkouška hltnosti, při které je vrt utěsněn obturátorem a následně začerpán vodou při přetlaku 0,5 Mpa. Po 5 minutách je sledován úbytek tlaku vody ve vrtu a vyhodnoceno Lugeonovo číslo. Při hodnotě Lu 0,8 a vyšší je poté odvtřán ochranný injektážní deštník skládající se až z 20 vrtů délky 25 m a zahájena injektáž. Celý proces se pravidelně opakuje každých 20 m ražby, tzn. dodržení vzájemného překryvu jednotlivých deštníků 5 m. Pro injektážní směsi je používán rychle tuhnoucí mikro cement ($d_{95} < 20 \mu\text{m}$) v poměrech w/c 1,0 až 0,6. V případech velkých spotřeb směsi je možno použít také cementu Rapid (CEM II 42,5 R). Použité injektážní cementy musí splňovat požadavky cementových norem SFS EN 197-1+A1. Po základní injektáži je možné zahájit vrtání produkčních vrtů teprve tehdy, vydrží-li injektážní směs seismické účinky trhacích prací a při vrtání se nevyplavuje spolu s výplachovou vodou z vývrtu. Minimální doba pro zahájení vrtání, měřeno od ukončení injektáže je 6 hodin a pro provedení trhacích prací 10 hodin. Zkrácení technologické přestávky je podmíněno prokázáním dostatečné pevnosti injektáže. Kritériem úspěšnosti je dodržení tříd těsnosti tunelu předepsaných projektem:

– třída AA průsaky vody $< 2 \text{ l/min/100 m}$ pro traťové tunely,



Obr. 5 Trhací práce v přístupovém tunelu
Fig. 5 Blasting operations in an access tunnel

by a scaler fitted to the excavator boom. The use of hydraulic hammers is not permitted.

Before the excavation starts, four 25 m long probe holes located on opposite sides of the face are drilled. During the course of drilling the rate of the penetration of the drilling tool, the drilling fluid and the position and amount of water encountered (if any) are followed and recorded. The absorption capacity test is conducted on each borehole. During the test the borehole is sealed by a packer and pressurised with water at 0.5 MPa. The drop in water pressure in the borehole is monitored after 5 minutes and Lugeon's criterion is determined. If the criterion value is equal to 0.8 or higher, drilling for a protective grouting umbrella consisting of 20 boreholes 25 m long is carried out and grouting operations starts. The entire process is regularly repeated every 20 m of the excavation, which means that the overlap of individual umbrellas is 5 m. Rapid-hardening cement ($d_{95} < 20 \mu\text{m}$) is used for the grout mixture with the w/c ratios ranging from 1.0 to 0.6. If the consumption of grout is high, it is possible to use Rapid cement (CEM II 42.5 R). The cements used for the grout must meet requirements of cement standards SFS EN 197-1+A1. After the basic grouting is completed, it is possible to start to drill the production holes only if the grout stands seismic effects of blasting and is not washed out together with the drilling water. The minimum times for starting the drilling operation and for the execution of blasting, measured from the end of grouting, are 6 hours and 10 hours, respectively. Reducing the duration of the technical break is conditioned by proving sufficient strength of the grout. The criterion for the success is the adherence to the following tunnel tightness classes prescribed by the design:

- class AA water seepage rate $< 2 \text{ l/min/100 m}$ for running tunnels,
- class A water seepage rate $< 5 \text{ l/min/100 m}$,
- class B water seepage rate $< 10 \text{ l/min/100 m}$.

If more water seeps to the tunnel in the particular section then the design prescribes that the area must be post-grouted. The grout is in all cases pumped into boreholes by an Atlas Copco Unigrout EH 45-200-2 x 110 MWB set. Polyurethane-based grouting materials can be used in the cases of exceptional failures with strong water inflows.

The rock bolts used as the excavation support are divided into the following categories:

- rock bolts installed before the commencement of excavation (first of all before the excavation of portal sections),



Obr. 6 Přístupový tunel Lauttasaari
Fig. 6 Lauttasaari access tunnel

- třída A průsaky vody < 5 l/min/100 m,
- třída B průsaky vody < 10 l/min/100 m.

Pokud v daném úseku vniká do tunelu více vody, než ukládá projekt, musí být oblast injektována zpětně – postgrouting. Začerpávání směsi je ve všech případech prováděno jednotkou Atlas Copco Unigrout EH 45-200-2 x 110 MWB. Pro případy mimořádných poruch se silnými přítoky vody lze použít injektážní materiály na bázi polyuretanů.

Svorníky používané jako výstroj výrubu se dělí podle následujících kategorií:

- svorníky osazované před započatím ražeb (zejména před ražbou portálových úseků),
- svorníky dočasné, přerušující cyklus ražby,
- svorníky trvalé, které jsou součástí definitivního ostění,
- doplňková svorníková výstroj.

Svorníky přerušující cyklus ražby jsou osazovány v místech určených projektem, popř. pokud hrozí uvolnění bloků horniny ohrožujících bezpečnost pracoviště. Jedná se zejména o dočasné svorníky s mechanicky rozpínanou hlavou délek 3–5 m a možností zpětného zainjektování před nástřikem betonů. Pokud splňují požadavky protikorozní ochrany, lze je přiznat jako součást definitivního ostění.

Svorníky trvalé jsou pruty z hřebínkové oceli \varnothing 25 mm, délek 3–5 m osazované systematicky do rastru 2x2 m. Svorníky nejsou vybaveny roznášecí podložkou a ani žádným jiným způsobem aktivovány. Instalace trvalých svorníků musí sledovat ražbu nejméně ve vzdálenosti 30 m od čelby, pro eliminaci účinků trhačích prací na injektážní zálivku.

Doplňková svorníková výstroj zahrnuje zejména samozávrtné kotvy typu TITAN 40/16, které tvoří ochranné deštníky délek až 12 m v místech zhoršené geologie. Pro tratový úsek LU6E (1,3 km) je předpokládáno osazení 45 000 m samozávrtných kotev. V oblasti ražeb pod hladinou moře je stávající výztuž doplněna o dalších 44 radiálních svorníků na běžný metr tunelu (obr. 7).

Materiál použitý pro výrobu svorníků je ocel A 500HW. Veškerá trvalá výztuž musí mít protikorozní povrchovou úpravu skládající se z žárového pozinkování tl. 105 μ m a epoxidového nátěru tl. 300 μ m. Dodavatelem svorníků s protikorozní ochranou je společnost Minova Bohemia, s. r. o. Zálivka je směsí běžného portlandského cementu a písku (max. zrnitost 2 mm) strojně zamíchávaná v poměru 1:1, w/c max. 0,4. Třída pevnosti zálivky je C30/37, stupně vlivu prostředí XA2 a XS2. Požadovaná životnost svorníkové výstroje je 100 let.

Veškeré vrtné práce jsou prováděny třemi poloautomatickými třílafetovými vrtacími jednotkami Tamrock Axera T11-315 TCAD. Horniny obsahují vysoký podíl tvrdých materiálů (živce, křemeny), které jsou značně abrazivní. Životnost vrtných korunek

- temporary rock bolts, interrupting the excavation cycle,
- permanent rock bolts, forming a part of the final lining,
- supplementary rock bolting support.

The rock bolts interrupting the excavation are installed in locations specified by the design or when there is the threat of loosening rock blocks jeopardising the safety at work. Temporary mechanically expanded rock bolts 3-5 m long are used first of all, allowing post-grouting before the shotcrete is applied. If they meet corrosion protection requirements, they can be recognised as parts of the final lining.

The permanent rock bolts are from deformed reinforcing bars 25 mm in diameter, 3-5 m long, which are installed systematically in a 2x2 m grid. The rock bolts are not equipped with faceplates and are not activated in any other way. The installation of permanent rock bolts must follow after the excavation at least at the distance of 30 m from the excavation face so that the effects of blasting operations on the grout are eliminated.

The supplementary rock bolting support comprises, first of all, TITAN 40/16 self-drilling anchors, forming up to 12 m long protective umbrellas in the locations of deteriorated geology. The installation of 45,000 pieces of self-drilling anchors is expected for the LU6E track section (1.3 km). In the area of driving under the sea surface, the existing reinforcement is enhanced by additional 44 radial rock bolts per linear meter of the tunnel (see Fig. 7).

The rockbolts are made of A 500HW steel. All permanent support elements must have corrosion resistant finish consisting of a 105 μ m thick hot-dip galvanised coat and a 300 μ m thick epoxy coat. The rock bolts provided with the corrosion protection are supplied by Minova Bohemia, s. r. o. The grout is a mixture of common Portland cement and sand (maximum grain-size of 2 mm), which are mechanically mixed in the ratio of 1:1, with the maximum w/c of 0.4. The grout strength grade is C30/37; environmental exposure classes are XA2 and XS2. The design life of the rock bolt support is 100 years.

All drilling is carried out using three Tamrock Axera T11-315 TCAD semi-automatic triple-boom drill rigs. The rock mass contains a high proportion of hard materials (feldspar, quartzite), which are highly abrasive. The drilling bits last only for several tens of meters, but they can be once or twice resharpened and reused.

Similarly to the rock bolts, structural concretes are also divided into basic categories:

- shotcrete applied immediately during the course of the works, which means interrupting the excavation,
- application of final lining shotcrete.

The immediate application of shotcrete is performed in worsened geological conditions with the aim of increasing the level of safety at work. Fibre reinforced shotcrete (60 kg of steel fibres per m^3) is used for this purpose.

The final lining consists of two layers of concrete. The initial layer is structural, 30 – 100 mm thick, again reinforced with fibres. In the case of running tunnels, polypropylene fibres (about 7 kg/ m^3) are used instead of steel fibres. The second layer, 30 mm thick, is from unreinforced concrete; it is considered to have a protective purpose. Identically with the case of final rock bolts, even the shotcrete lining must follow after the excavation at the distance of at least 30 m from the face. Cross drains are installed in the cases of contingent local dripping.

Material requirements for the quality of shotcrete are based on the SFS-EN 14487-1 and SFS-EN 14487-2 standards. The maximum size of grains of aggregates in the concrete is 8 mm. Portland cements are used as the binder. When the wet

je pouze několik desítek metrů, lze je však jednou až dvakrát přebrousit a opětovně nasadit.

Obdobně jako svorníky se i konstrukční betony dělí do základních kategorií:

- bezprostřední nástřik betonu v průběhu prací, jež znamená přerušování ražby,
- nástřik definitivního ostění.

Bezprostřední nástřik je aplikován při zhoršených geologických podmínkách pro zvýšení úrovně bezpečnosti na pracovišti. Pro nástřik je používán beton s rozptýlenou výztuží (60 kg ocelových drátků na m³).

Definitivní ostění se skládá ze dvou vrstev betonů. První vrstva je konstrukční v tl. 30–100 mm opět s rozptýlenou výztuží. V případě traťových tunelů jsou místo ocelových vláken používána vlákna polypropylénová (cca 7 kg/m³). Druhá vrstva z prostého betonu tl. 30 mm je uvažována jako ochranná. Stejně jako v případě definitivních svorníků musí i stříkané ostění sledovat ražbu alespoň 30 m od čelby. Pro případy lokálních úkapů vody jsou instalovány organizované drenážní svody.

Materiálové požadavky na kvalitu stříkaných betonů vycházejí z norem SFS-EN 14487-1 a SFS-EN 14487-2. Kamenivo v betonech smí mít maximální velikost zrna 8 mm. Jako pojivo jsou používány portlandské cementy. Při aplikaci nástřiku mokřím způsobem smí být poměr w/c maximálně 0,5. Množství vody v betonové směsi nesmí být vyšší než 200 kg/m³ (sednutí kužele 100–150 mm). Hustota čerstvého betonu musí být větší než 2200 kg/m³. Dávkování urychlovače tuhnutí nesmí být vyšší než 5 % hmotnosti cementu. Tento poměrně přísný požadavek splňují akcelerátory Sika Sigunit L53 AF-S. Ošetřující přísady pro zrání betonu nejsou povoleny. Povrch je nutné skrápět vodní mlhou po dobu min. 14 dní od aplikace, nebo když je dosaženo 80 % jmenovité pevnosti. Kvalitativní požadavek na výsledný beton je třída C30/37, XC3, XF1. Energetická pohltivost drátkobetonů při deskové zkoušce (při průhybu 25 mm) musí být min. 1000 J. Používaná ocelová vlákna musí být delší než 25 mm. Mez kluzu ocelových vláken musí dosahovat minimálně 800 MPa a jejich konce musí být rozšířené nebo zahnuté. Čerstvá betonová směs je na staveništi dopravována v autodomíchávacích a nanášena manipulátorem Meyco Potenza.

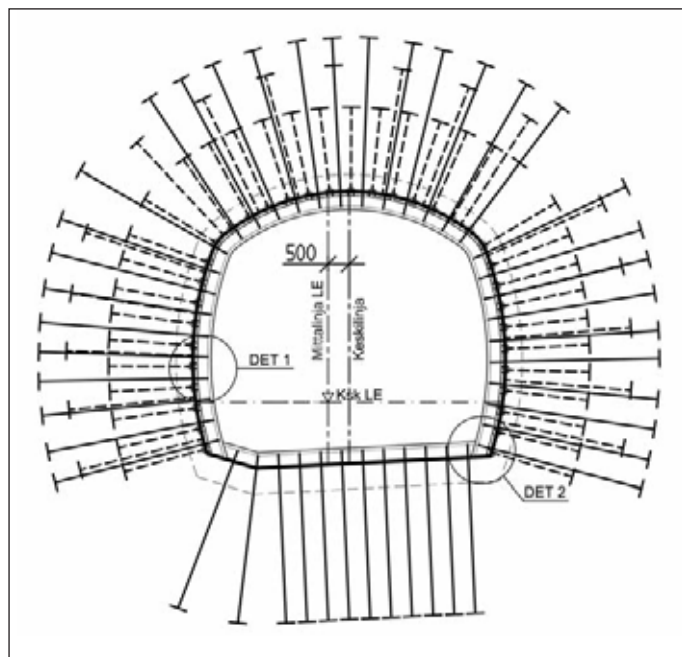
Na stavbách se pracovníci střídají v šestitýdenních turnusech a poté mají 3 týdny volna. Raziči pracují ve dvousměrném provozu šest dní v týdnu v počtu čtyř dělníků ve směně. Pracovní dny jsou využívány k ražbě s průměrným postupem 3,5 metru/čelbu/den, o sobotách se buduje definitivní ostění. Celkem na projektu pracuje (včetně razičů čerpajících turnusové volna) 31 zaměstnanců divize 5 Metrostavu, a. s.

V současné době jsou dokončeny a předány přístupové tunely Myllykallio a Koivusaari. Poslední přístupový tunel Lauttasaari bude dokončen na podzim roku 2011. Ražba traťových tunelů začala letos v červnu a plánované dokončení, včetně všech doprovodných objektů, je v prvním čtvrtletí roku 2013.

ING. VÁCLAV PAVLOVSKÝ,
vaclav.pavlovsky@metrostav.cz,

ING. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
METROSTAV, a. s.

Recenzoval: Ing. Jan Korejčík



Obr. 7 Svorníková výstroj v úseku raženém pod mořem

Fig. 7 Rock bolt support within the section driven under the sea bed

process is applied, the maximum w/c ratio is 0.5. The amount of water in the concrete mix must not exceed 200 kg/m³ (slump of 100 – 150 mm). The density of fresh concrete must be higher than 2,200 kg/m³. Dosing of setting accelerator must not exceed 5 % of the weight of cement. This relatively strict requirement is met by Sika Sigunit L53 AF-S accelerators. Curing agents are not permitted. Water mist must be sprayed on the surface for 14 days after the application as the minimum, or until 80 per cent of the nominal strength is reached. The quality of the resultant concrete reaches the grade C30/37, XC3, XF1. The minimum energy absorption capacity at the plate test (at deflection of 25 mm) must be 1000 J. The steel fibres used must be longer than 25 mm. The yield strength of steel fibres must reach 800 MPa as the minimum and their ends must be widened or provided with hooks. Fresh concrete mix is transported to site in mix trucks and is applied by a Meyco Potenza manipulator.

Six-week tours of duty alternating with 3 weeks off are applied on sites. The miners work a 6 day / two shift operation with four men in a shift. The excavation proceeds during working days at the average advance rate of 3.5 metres per heading per day, while the final lining is erected on Saturdays. The total number of employees of Division 5 of Metrostav a. s. (including miners taking time off work) is 31.

To date the Myllykallio and Koivusaari tunnels have been completed and handed over. The last access tunnel, Lauttasaari, will be completed in the autumn of 2011. Driving of the running tunnels started this year in June and the completion, including all associated structures, is planned for the first quarter of 2013.

ING. VÁCLAV PAVLOVSKÝ,
vaclav.pavlovsky@metrostav.cz,
ING. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
METROSTAV, a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] www.lansimetro.fi
- [2] Sweco: Rakennusosloetus LU6E Karhusaaren Rattatunneli, 2010

RAZENIE A BETONÁŽ TUNELOV V INTRAVILÁNE MESTA ŠTOKHOLM

DRIVING TUNNELS AND CASTING CONCRETE TUNNEL STRUCTURES IN DEVELOPED AREA OF STOCKHOLM

PETER BALUŠIK

ÚVOD

Razenie tunelov v intraviláne miest je vždy skúškou organizácie prác, logistiky a technologickej disciplíny. V prípade susediacich častí projektu s rôznymi zhotoviteľmi je náročnosť navýšená o koordináciu prác medzi nimi. Projekt Norra Länken (severná linka) v Štokholme v sebe spája všetky tieto znaky.

Norra Länken je projektom severného obchvatu Štokholmu, ktorý po napojení na už jestvujúce obchvaty Södra Länken a Essingeleden vytvorí tzv. veľký obchvat Štokholmu, ktorý v tvare polmesiaca okolo mesta spojí dva dôležité štokholmské prístavy Värtahamnen a Frihamnen (obr. 1). Po sprevádzkovaní má toto dopravné spojenie odľahčiť pozemnú dopravu v širšom centre Štokholmu až o polovicu. Práce na projekte boli začaté v roku 2007 a dokončenie je plánované na rok 2015.

Časť realizovaná spoločnosťou Skanska (Skanska Sverige AB Stora Project a Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK), NL 11, pozostáva z razeného tunela Karoliner 111, hĺbeného tunela Stålmastergårdener 112 a súvisiacich objektov (obr. 2). Každý z tunelov je určený pre jeden smer premávky – tunel 111 pre smer sever – juh a tunel 112 pre smer juh – sever.

RAZENIE TUNELA KAROLINER 111

Tunel Karoliner 111 má celkovú dĺžku 420 m, z toho je 75 m hĺbená časť a zvyšok tunela je razený Nórskou tunelovacou metódou (NTM).

INTRODUCTION

Driving tunnels in developed urban areas is always a test of the works organisation, logistics and technological discipline. If neighbouring portions of the project are carried out by different contractors, the demands are further increased because of the necessity for the co-ordination between them. The Norra Länken (the Northern Link) project in Stockholm comprises the above features in it.

The Norra Länken project solves a northern by-pass of Stockholm, which will form, once it is connected to the existing Södra Länken and Essingeleden by-pass roads, a large by-pass of Stockholm, the alignment of which will link two major Stockholm harbours of Värtahamnen and Frihamnen in the shape of a crescent (see Fig. 1). When this transport connection has been commissioned, this link is expected to reduce the surface traffic within the wider centre of Stockholm up to a half. The work on the project commenced at the beginning of 2007 and the completion is planned for 2015.

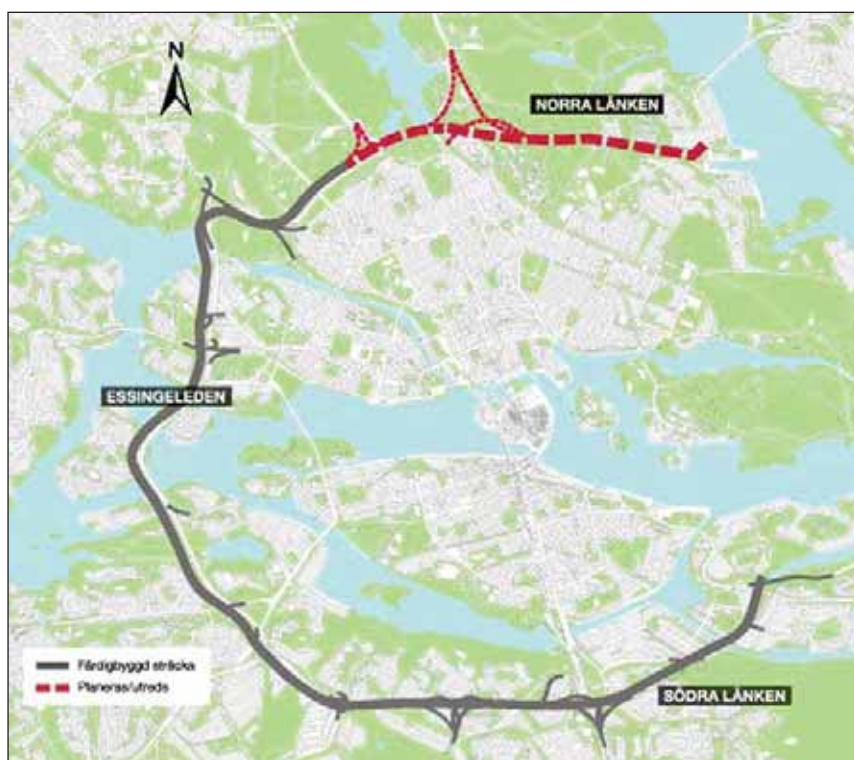
The part which has been implemented by Skanska (Skanska Sverige AB Stora Project and Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK), NL 11, consists of the Karoliner 111 mined tunnel, the Stålmastergårdener 112 cut and cover tunnel and associated structures (see Fig. 2). Each of the tunnels is designed for one direction of traffic: tunnel 111 for the north-south direction and tunnel 112 for the south-north direction.

DRIVING THE KAROLINER 111 TUNNEL

The Karoliner 111 tunnel is 420 m long in total, with a 75 m long cut-and-cover part and the remaining part driven using the Norwegian Tunnelling Method (the NTM).

As usual in Scandinavian countries, geology was excellent. Rock mass consisted of granites and granitic gneiss, interwoven by a system of discontinuities, with sporadic occurrence of small bodies of fractured rock.

The mining operations started in mid-2007. The initial phase comprised the excavation of the Ramp 195 access adit, with the excavation of the Karoliner tunnel itself starting from this adit. The excavated area of the tunnel amounted to 88-104 m², the overburden height varied from 4 to 20 m. The full-face excavation system was used (without partial headings), with the exception of a 30 m long section where the Karoliner tunnel passed under the existing, fully operating Eugenia tunnel (the E4 interstate highway; 100 thousand vehicles per 24 hours) (see Figures 3 and 4). In this section the excavation face was divided into 5 parts. A pilot tunnel with dimensions of 5x5 m was driven first, with the round length of 3 m. Then individual partial headings followed, with the blasting round lengths of 0.5 m.



Obr. 1 Mapa veľkého obchvatu mesta Štokholm (Trafikverket)
Fig. 1 Map of the large by-pass of the City of Stockholm (Trafikverket)



Obr. 2 Situácia stavby NL11 (Skanska Sverige AB)
Fig. 2 Construction NL11 layout (Skanska Sverige AB)

Ako je to obvyklé v škandinávskych krajinách, geologické pomery boli vynikajúce. Horninový masív tvorili granity a granitické ruly, pretkané systémom diskontinuit a s ojedinelým výskytom rozsahom malých útvarov porušenej horniny.

Raziace práce začali v polovici roku 2007. V prvej fáze bol vyrazený prístupový tunel Ramp 195, z ktorého potom odštartovalo razenie samotného tunela Karoliner. Tunel mal plochu výrubu 88–104 m², výška nadložia sa pohybovala od



Obr. 3 Pohľad na ŽB dosku deliacu tunel 111 od tunela Eugenia
Fig. 3 View of the RC slab separating tunnel 111 from Eugenia tunnel

Standard mechanical equipment was used during the tunnel driving operations; a Titan SSE emulsion explosive (Orica – DYNO Nobel) charging truck was used as an innovation.

BLASTING OPERATIONS

One of the most important conditions for successful blasting operations is a correct face drilling system. This was why the drilling set was controlled solely using a total station or a static laser, with the Bever system installed on the drill rig. The blasting



Obr. 4 Vrtanie na odstreľ pod tunelom Eugenia (Skanska Sverige AB)
Fig. 4 Blasthole drilling under Eugenia tunnel (Skanska Sverige AB)

4 do 20 m. Razenie prebiehalo na celý profil (bez delenej čelby), až na výnimku 30 m úseku, kde tunel Karoliner prechádzal popod jestvujúci tunel Eugenia v plnej prevádzke (medzinárodná cesta E4, 100 tisíc vozidiel za 24 hod) (obr. 3, 4). V tomto úseku bolo čelo razenia rozdelené na 5 častí. Najprv bola razená pilotná časť rozmerov cca 5x5 m, na záber 3 m. Potom boli odstřeňované jednotlivé časti na záber 0,5 m.

Pri raziacich prácach bola použitá štandardná mechanizácia, ako novinka bola použitá nabíjacia súprava na emulznú trhavinu Titan SSE (Orica – DYNO Nobel).

TRHACIE PRÁCE

Jedným z najdôležitejších predpokladov úspešnosti trhacích prác je správne navíťanie čelby, preto bolo používané výhradne usmerňovanie vrtného voza pomocou totálnej stanice, resp. statického lasera a Bever systému vo vrtnom voze. Pomocou spätného vyhodnocovania vrtania, účinnosti trhacích prác a spôsobených vibrácií na povrchu, sa optimalizovali trhacie práce a predovšetkým ich negatívny účinok na povrchu.

Pri trhacích prácach bol použitý inovatívny systém – nabíjacia súprava Orica – DYNO Nobel Titan SSE na emulznú trhavinu. Skanska tu použila tento systém po prvý raz.

Nabíjacia súprava bola osadená na podvozku nákladného auta Mercedes, vybaveného aj vysokozdvížnou plošinou značky AMV. Súčasťou súpravy je čerpadlo Titan SSE (Site Sensitised Emulsion) na plne automatizované dávkovanie emulznej trhaviny. Automatizácia spočíva v namiešaní emulzie pre danú časť čelby, ako i v samotnom dávkovaní množstva emulzie na meter vývrtu.

Čelba bola obvyčajne rozdelená do štyroch častí s rôznou mernou náložou (od 350 do 1300 g/m vývrtu). Po navíťaní čelby na odstrel bola strelmajstrom rozdelená na tieto časti sprejovým nástrekom, takže pri nabíjaní bolo zrejme, akou mernou náložou a s akým časovaním sa má nabíjať daný vrt (obr. 3, 4). Na diaľkovom ovládači sa potom pre jednotlivé oblasti zvolil druh dávkovania. Súprava automaticky podľa zvoleného dávkovania miešala emulziu a zároveň zvolila rýchlosť vytáhovania hadice z vývrtu, ktoré bolo taktiež automatizované. Tento systém bol jednak rýchly a zároveň zaručoval presné nabitie čelby v súlade s požiadavkami na optimalizáciu účinnosti trhacích prác a vibrácií nimi spôsobených. Záber na odstrel bol zvyčajne 5 m, pričom sa naň použilo priemerne 800 kg emulznej trhaviny Titan 7000. Na roznet bol používaný neelektrický roznet NONEL (Orica –



Obr. 5 Nabíť a zapojená čelba tunela III
Fig. 5 Charged and wired face of tunnel III

operations and, first of all, negative effects of blasting on the ground surface were optimised through back-analysing the drilling system, the efficiency of blasting operations and vibrations induced on the surface.

An innovative system, Orica – DYNO Nobel Titan SSE emulsion explosive charging truck was applied to the blasting operations. It was the first application of this system by Skanska.

The charging set was mounted on a Mercedes truck undercarriage, which was in addition equipped with an AMV platform lifter. Part of the set is a Titan SSE (Site Sensitised Emulsion) pump allowing fully automated dosing of the emulsion explosive. The automation lies in mixing of the emulsion for a particular part of the face and dosing of the emulsion amount per a metre of the blast hole.

The excavation face was usually divided into four parts, requiring different specific charges (from 350 to 1300 g per a metre of a blast hole). When the blasthole drilling had been finished, the shotfirer divided the face into the above-mentioned parts, marking them by spray paint so that it was obvious during the charge loading which specific charge and which delays are to be used for the particular borehole (see Figures 3 and 4). The dosing types for the respective areas were subsequently selected on the remote control device. The set mixed the emulsion automatically, according to the dosing rate selected. At the same time it chose the speed of pulling the hose from the borehole. This process was also automated. The whole system was quick and at the same time guaranteed precise loading of charges in the face, complying with requirements for the optimisation of the efficiency of blasting operations and vibrations induced. The pull was usually 5 m long, with an average consumption of the Titan 7000 emulsion explosive of 800 kg per round. The NONEL non-electric initiation system (Orica DYNO Nobel) was applied. The face was wired using a combination of non-electric detonators NONEL LP and SL connection blocks, with each part of the face comprising identical specific charge weights connected to one SL connection block (see Fig. 5).

Vibration reducing measures

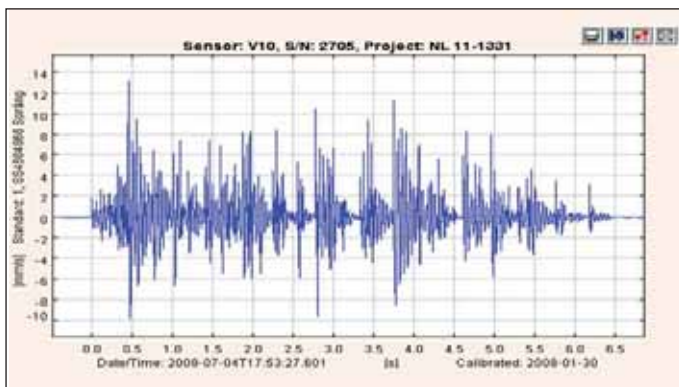
Because of the fact that the tunnel was driven in a developed urban area, under a busy road intersection, in the vicinity of an operating tunnel or under a hospital, great stress was placed on minimising vibrations. The whole blasting procedure was adapted to this requirement and it was one of the main reasons why the SSE charging set was used. Owing to the automated charge loading process, the set ensured virtually 100 per cent charging discipline.

The following coordination has to be provided during the blasting operations:

a) coordination with the works at surface work places and with the adjacent part of the Norra Länken project, NL12

In the sections which were closer than 20 m from the intersection above the tunnel or from the adjacent work places and surface work places or from the neighbouring Eugenia tunnel, the blasting operations were permitted only one-by-one and only during two day-times: at 10 a.m. and 2 p.m. To be able to keep to these conditions, it was necessary to reach mutual agreement on the times of the blasting among the other firms, 24 hours ahead. In addition, the times of blasting events were adjusted 1 hour ahead and wireless communications were required just before the blasting;

b) coordination with the company providing vibration measurements



Obr. 6 Ukážka grafického záznamu vibrácií pri dobrom výsledku (Nitro Consult AB)

Fig. 6 Illustration of a graphical record of vibrations in the case of a good result (Nitro Consult AB)

DYNO Nobel). Čelba sa zapájala kombináciou neelektrických rozbušiek NONEL LP a SL konektorov (SL connection blocks) a to tak, že každá časť čelby s rovnakou mernou hmotnosťou nálože bola spojená do jedného SL konektora (obr. 5).

Opatrenia na obmedzenie vibrácií

Keďže tunel bol razený v intraviláne, pod frekventovanou križovatkou, v blízkosti nachádzajúceho sa tunela v prevádzke, resp. pod nemocnicou, kládol sa veľký dôraz na minimalizáciu vibrácií. Tomu bol prispôsobený celý postup trhacích prác a zároveň to bol jeden z hlavných dôvodov použitia nabíjacej súpravy SSE. Tá zabezpečovala, vďaka automatizovanému procesu nabíjania, prakticky 100% disciplínu pri nabíjaní trhavín.

Počas trhacích prác musela byť zabezpečená koordinácia:

a) s trhacími prácami na povrchových pracoviskách a so susediacou časťou projektu Norra Länken – NL12

V úsekoch, ktoré boli bližšie než 20 m ku križovatke nad tunelom, susediacim a povrchovým pracoviskám, resp. k susediacemu tunelu Eugenia, mohli byť trhacie práce vykonávané len po jednom a len v dvoch denných časoch – o 10 h a 14 h. Z týchto dôvodov bolo nutné dohodnúť 24 hodín dopredu, prostredníctvom stavebného dozoru, s ostatnými firmami časy odstrelov tak, aby boli podmienky dodržané. Odstrely sa ešte upresňovali 1 hodinu vopred a tesne pred odstreli boli potrebná komunikácia prostredníctvom vysieláčiek;

b) s firmou zabezpečujúcou meranie vibrácií

Meranie vibrácií zabezpečovala firma Nitro Consult, ktorej bolo potrebné nahlásiť časy plánovaných trhacích prác na týždeň dopredu a v deň odstrelu spresniť čas a polohu (staničenie) odstrelu;

c) s nemocnicou Karolinska

V tesnej blízkosti NL11 sa nachádza veľký nemocničný komplex Karolinska a v trase tunela Karoliner 111 dokonca budova s veľmi citlivými prístrojmi. Preto bolo nevyhnutné informovať nemocnicu o presných časoch odstrelov a to 24 hodín a 1 hodinu vopred. V čase odstrelu museli byť všetky prístroje vypnuté.

Počas celého priebehu výstavby boli merané a neustále vyhodnocované vibrácie. Pri prekročení stanoveného limitu $100 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$ musela byť prehodnotená vrtná schéma a dĺžka záberu tak, aby sa uvedený limit neprekročil (obr. 6). Výsledky meraní boli technikovi doručené okamžite po odstrele formou SMS. Jedným z opatrení na zníženie vibrácií bolo držať tvar čelby v konkávnom tvare, t.j. tak, aby stred čelby mierne predstihoval obrys.

Vibration measurements were ensured by Nitro Consult. It was necessary to announce the planned times of blasting operations to this company one week ahead and to adjust the time and location (chainage) of the blasting event on the blasting day;

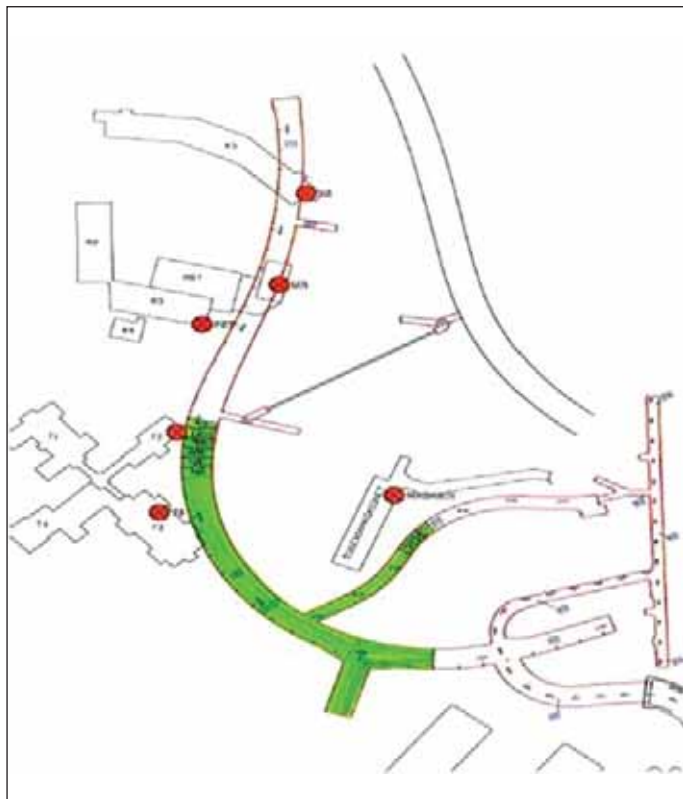
c) coordination with Karolinska hospital

The large hospital complex Karolinska is found in the close vicinity of the NL11, while a building housing highly sensitive apparatuses is located on the Karoliner 111 tunnel alignment. This is why it was unavoidable to inform the hospital about exact times of the blasting event 24 hours ahead and an hour ahead of the blasting. All apparatuses had to be turned off during the blasting time.

Vibrations were continually measured and assessed during the course of the entire construction process. When the set limit of $100 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$ was exceeded, the blasting patterns and the round lengths had to be reassessed so that the above-mentioned limit was no more exceeded (see Fig. 6). The results of measurements were relayed to a technician immediately after the blast in the form of an SMS. One of the vibration-reducing measures was keeping the excavation face in a concave shape, i.e. with the centre of the face found slightly ahead of the face perimeter.

The vibrations were successfully kept within the limit. During the whole construction, the round length was reduced only for preventative purposes within the section passing under the existing tunnel, Eugenia (see Fig. 7).

As far as the Karoliner tunnel is concerned, two escape routes (22 m and 18 m long) had to be driven to connect it with the Eugenia tunnel. These tunnels were driven without any interruption of traffic, with the blasting operations restricted to 10 a.m. and 2 p.m., when the traffic was interrupted for about 15 minutes. The breakthroughs to the Eugenia tunnel themselves took place during nights, during times set in advance by the



Obr. 7 Schéma rozmiestnenia meracích bodov na meranie vibrácií (Skanska Sverige AB)

Fig. 7 Layout of locations of vibration measurement points (Skanska Sverige AB)

Vibrácie sa podarilo udržať v limite. Počas celej výstavby bola dĺžka záberu zmenšená len preventívne v úseku, ktorý prechádzal popod jestvujúci tunel Eugenia (obr. 7).

Z tunela Karoliner 111 bolo potrebné preraziť aj dve únikové cesty (22 a 18 m), ktoré ho spájali s tunelom Eugenia. Tie sa razili za plnej prevádzky, s obmedzením trhacích prác na 10 h a 14 h, keď bola premávka zastavená na cca 15 minút. Samotné prerazenie do tunela Eugenia sa uskutočnilo v nočných hodinách, v čase vopred stanovenom správou ciest (Vägverket). V tomto čase bola premávka zastavená od 22 h do 5 h hodiny, takže za 7 hodín bolo potrebné nabiť a odpáliť čelbu, vyčistiť tunel Eugenia a dočasne zatvoriť priechod.

BETONÁŽ HLĚBENÉHO TUNELA STÄLMÄSTERGÄRDENER 112

Druhou fázou výstavby NL11 bol hĺbený tunel 112. Tunel mal štvorcový priečny profil 10 m x 10 m. Celková dĺžka tunela je 180 m. Tunel 112 plynule nadväzuje na hĺbený tunel v ďalšej časti projektu Norra Länken – NL12.

Plánovanie a príprava výstavby bola urobená veľmi precízne. Do úvahy boli brané všetky faktory, obmedzujúce priebeh výstavby:

• Frekventovaná doprava v okolí stavby

V tesnej blízkosti stavby sa nachádzala frekventovaná križovatka s pravidelnými dopravnými zápchami. Situovanie stavby bolo logisticky na veľmi komplikovanom mieste. Výrobňa betónu bola vzdialená len 15 min jazdy autom, no v dopravnej špičke sa tento čas predĺžil až na 45 min. Situovanie nevyhovovalo aj práci so statickými žeriavmi, keď výložník všetkých troch žeriavov zasahoval pri rotácii do zóny civilnej dopravy, ako aj do zóny areálu nemocnice Karolinska, čo si vyžiadalo špeciálne opatrenia. Žeriavy boli vybavené zónovým blokovaním, čím bol zamedzený pohyb s bremenom ponad premávku, či nemocničné priestory.

• Bezprostredné susedstvo stavby NL12

Priestory skládok materiálu sa prelínali medzi oboma stavbami. Bolo veľmi náročné udržať poriadok na skládkach a zladit' jednotlivé operácie tak, aby nedochádzalo k zdržaniam na oboch stranách.

• Zimné obdobie

Stavba sa začínala vo februári 2009 a trvala do leta 2010. Najchladnejšie mesiace vo Švédsku sú obvykle január a február. Teploty v týchto mesiacoch aj v Štokholme zvyknú klesnúť na -20°C .

Okrem týchto faktorov pamätala príprava aj na ciele projektového tímu – minimalizáciu času výstavby a nákladov.

Boli to predovšetkým systémové rozhodnutia počas prípravy stavby, ktoré predurčili úspešnosť stavby. Išlo o využitie prefabrikácie a predmontáže, minimalizáciu manuálnej práce pri viazaní ocelevej výstuže, rozdelenie osádky do špecializovaných tímov.

Využitie prefabrikácie a predmontáže

Tunel bol rozdelený na 18 blokov dĺžky cca 10 m. Každý z blokov bol projekčne pripravený tak, aby boli minimálne rozdiely v tvare a vo výkresoch výstuže. Pokiaľ to situácia vyžadovala, zmeny boli len v detailoch (prestupy chráničiek, okná, výklenky a pod.). Výstavba blokov bola rozdelená do troch etáp – spodná doska, steny a stropná doska. Výkresy výstuže boli vyhotovené tak, aby bolo možné použiť čo najviac predpripravených prvkov. Niektoré sa dopravovali ako hotové koše priamo od výrobcu – koše pre tesniace pásy, dištančné koše, dištančné rebríky. Ďalšie boli pripravované vo výrobní výstuže na stavbe. Švédske predpisy umožňujú v istých prípadoch použitie zváraných spojov výstuže, čo sa na stavbe využilo.

road administration (Vägverket). During this time traffic was stopped from 10 p.m. to 5 a.m. This means that the charges had to be loaded and fired, the Eugenia tunnel cleaned and the passage through the tunnel had to be stopped during this time.

CASTING OF CONCRETE STRUCTURES OF STÄLMÄSTERGÄRDENER 112 TUNNEL

The second phase of the NL11 construction was the cut-and-cover Tunnel 112. The tunnel cross section was that of a 10 m x 10 m square. The total length of the tunnel is 180 m. The Tunnel 112 fluently links the cut-and-cover tunnel found in the adjacent part of the Norra Länken project – the NL12.

Planning of the construction and the preparation were carried out very precisely. All factors restricting the course of the construction were taken into consideration:

• Busy traffic in the construction surroundings

A busy road intersection was found in the close vicinity of the construction site, suffering from regular traffic congestions. The site location was very complicated in terms of logistics. The concrete batching plant was at the distance of a mere 15 minutes by road; during peak hours this time was extended up to 45 minutes. In addition, the location was not satisfactory for the operation of static cranes: The jibs of all three cranes extended into the civic traffic zone and the Karolinska hospital grounds while rotating, therefore special measures were necessary. The cranes were equipped with zone blocking, preventing them from moving with suspended loads above the traffic or hospital grounds.

• The immediate neighbourhood of the NL12 project

The material storage areas were located in the area on the border between the two projects. Maintaining order on the storage sites and harmonising individual operations so that delays were prevented on both sides was a very exacting task.

• Winter period

The construction works started in February 2009 and continued till the summer of 2010. The coldest months in Sweden are usually January and February. Temperatures during these months usually drop up to -20°C even in Stockholm.

Apart from the above factors, the planning process took into consideration even the objectives of the project team, i.e. the minimisation of the construction time and costs.

System decisions made during the construction planning phase were the main aspect predetermining the success of the construction. They dealt with the use of prefabrication and pre-assembly, minimisation of manual work in tying up concrete reinforcement and the division of the working crew into specialised teams.

The use of prefabrication and pre-assembly

The tunnel was divided into 18 approximately 10 m long blocks. Each of the blocks was designed in a way minimising differences in the formwork and in reinforcement detailed drawings. If the situation required it, only details were modified (locations of casing pipes, openings, niches etc.). The construction of the blocks was divided into three stages: the bottom slab, walls and roof deck. Reinforcement detailed drawings were carried out with the intention of allowing as many pre-prepared elements as possible to be used. Some of them (cages enveloping the waterstops, cage spacers, ladder spacers) were transported as complete reinforcement cages directly from producers. Other elements were prepared in a rebar processing facility on site. In certain cases, Swedish regulations allow welded joints on reinforcing bars to be used; this technique was used during the construction. The Doka system formwork was



Obr. 8 Debniaci voz na stropnú dosku tunela I12
Fig. 8 Travelling formwork for the roof deck of tunnel I12

Na debnenie bolo použité systémové debnenie Doka, z ktorého boli predmontované diely šírky 3 m a výšky 10 m na debnenie stien. Na debnenie stropnej dosky bol použitý debniaci voz, na ktorom sa dodebňoval strop podľa potreby a veľkosti zalomenia smerového oblúka (tunel bol trasovaný v oblúku) (obr. 8).

Minimalizácia manuálnej práce pri viazaní

Pre zrýchlenie výstavby boli minimalizované manuálne práce viazačov. Všetka prúťová výstuž, u ktorej to bolo možné, resp. efektívne, bola dovezená od výrobcu v balíkoch BAMTEC. Prúty boli rozložené v určenom rozstupe, v ktorom sú upevnené páskou a zbalené do roliek (ako koberec). Takto sa dovezli na miesto určenia, rozvinuli sa a pracovníci už len pripevnili jednotlivé prúty k predchádzajúcej vrstve výstuže.

Na viazanie prúťov boli používané viazacie pištoly (Max Rebar Tier). Toto urýchlilo armovacie práce a napriek vysokej cene pištolí ich použitie bolo efektívnou investíciou.

Strojná vybavenosť bola celkovo na vysokej úrovni.

Rozdelenie osádky do špecializovaných tímov

Osádka bola rozdelená do menších tímov podľa špecializácie. Každý tím vykonával stále rovnakú operáciu. Tento krok spolu s využitím prefabrikácie a predmontáže znamenal prakticky pásovú výrobu na stavbe (alebo systém tzv. prúdovej výstavby). Každý tím vedel presne rozsah prác, ktoré má vykonať a odstránili sa tak stratové časy pri striedaní pracovísk, zmene mechanizácie, či oblečenia.

Postup pri výstavbe

Ako už bolo uvedené, osádka bola rozdelená do špecializovaných tímov. Pre realizáciu spodnej dosky a stien boli vytvorené tri tímy. Prvý tím mal na starosti montáž a demontáž debnenia a betonáž. Druhý tím mal na starosti ukladanie ocelevej výstuže a tretí tím prípravu výstuže.

Na debnenie sa používali bloky vyskladané z debnenia Doka. K dispozícii boli tri sady vonkajšieho debnenia stien a jedna sada vnútorného debnenia stien. Najprv bolo osadené vonkajšie debnenie stien prvého bloku, aby druhý tím mohol začať s ukladáním ocelevej výstuže. Počas práce s výstužou prvý tím postavil vonkajšie debnenie na nasledujúcom bloku a oddebnil vnútorné a vonkajšie debnenie stien na predchádzajúcom bloku. Po ukončení ukladania výstuže (vystužovala sa spodná doska spolu so stenami) prvý tím zabetónoval spodnú dosku a druhý tím začal ukladať výstuž na nasledujúcom bloku. S časovým

used, with 3 m wide and 10 m high components pre-prepared for forming the walls. A traveller form was used for the roof deck, with the deck formwork being completed on it as required and with respect to the radius of the horizontal curve (the tunnel alignment was on a curve) (see Fig. 8).

Minimisation of manual work in tying up concrete reinforcement

The handwork of workers tying up reinforcement bars was minimised so that the construction process was accelerated. All reinforcing bars for which it was possible or effective were transported from producers in the form of BAMTEC rolls. The bars were spread out at the specified spacing, fixed in the positions by a tape and rolled up (as a carpet). The rolls were transported to the site, unrolled and the only operation left for workers was fixing of the bars to the preceding reinforcement layer.

Max Rebar Tier tools were used for tying up the reinforcement. This technique accelerated the reinforcement placing operations; the investment turned out to be effective despite the high price of the tiers.

The overall level of mechanical equipment was high.

Division of the working crew into specialised teams

The working crew was divided into smaller teams taking into consideration specialisations. Each team performed always a single operation. This step, together with the use of prefabrication and pre-assembly, meant that the construction was carried out using a flow line production system. Each team knew the exact scope of work it is required to perform. Owing to this system down-times originating when changing work places, changing mechanical equipment or clothing were eliminated.

Construction procedure

As mentioned above, the working crew was divided into specialised teams. Three teams were formed for the construction of the bottom slab and walls. The first team was assigned the task of assembling and disassembling the formwork and casting concrete. The second team took care of placing reinforcement, whilst the third team prepared the reinforcement for them.

Formwork blocks assembled from Doka system elements were used. There were three inner formwork sets and one outer



Obr. 9 Pohľad na postup výstavby
Fig. 9 View of the construction process



Obr. 10 Pracovníci pri rozbalňovaní rolky BAMTEC
Fig. 10 Workers unrolling a BAMTEC roll

odstupom 12 h po zabetónovaní spodnej dosky sa začalo s debnením stien. Takto bola zaručená kontinuita prác, pričom vždy sa jeden blok debnil, jeden oddebňoval, jeden betónoval (spodná doska alebo steny) a v ďalšom sa ukladala výstuž.

Pre elimináciu vplyvu zmršťovania betónu sa bloky betónovali obkročmo v poradí 1, 3, 5, 2, 4, 7 atď. (obr. 9).

Ukladanie výstuže do spodnej dosky prebiehalo spolu s ukladaním výstuže stien. Pre zrýchlenie tejto činnosti boli použité rolky BAMTEC pri realizácii spodnej i vrchnej vrstvy spodnej dosky. Manuálne boli dokladané a viazané len zosilňovacie prvky a prvky napojenia dosky so stenami. Oceľová výstuž stien bola prichytávaná na pomocnú výstuž pripevnenú hliníkovými klincami priamo na debnenie. Aby sa urýchlilo ukladanie výstuže stien, prvá a druhá vrstva výstuže sa pripravila vo výrobní výstuže (jej súčasťou bola betónová plocha na to prispôbená) vo forme sietí. Tieto boli skladané taktiež z roliek BAMTEC. Hotové siete boli prevážané priamo na miesto uloženia žeriavmi. Ďalším urýchlením bolo použitie dilatčných košov namiesto strmeňov (obr. 10, 11).

Dilatčné škáry medzi blokmi boli riešené stredovým a bočným tesniacim pásom (fugeband), pre ktorého osadenie bol vo výstuži vytvorený špeciálny kôš. Nebolo preto potrebné zdĺhavo vkladať výstuž pre tento detail. Pracovná škára medzi spodnou doskou a stenami bola ihneď ošetrená retardérom tuhnutia betónu. Tento sa po 24 hodinách vystriekal vysokotlakým čističom. To zaručovalo dostatočné zdrsenie škáry. Vodotesnosť (keďže škára sa nachádzala pod úrovňou hladiny spodnej vody) zabezpečoval tesniaci pás z pozinkovanej ocele Contaflex a bentonitový pás Hy-Dra Waterstop. Obidva pásy boli napojené na tesniaci pás na koncoch blokov.

Práce na stropnej doske začali až s odstupom – po zabetónovaní 8. bloku spodnej časti konštrukcie. Na starosti ju mal štvorčlenný tím, ktorý vykonával všetky činnosti s tým spojené – oddebnenie debniaceho voza, jeho presun a osadenie na pozíciu, dodebnenie stropu, uloženie výstuže dosky a aj samotnú betónáž. Pre urýchlzenie prác s ukladaním výstuže boli aj tu použité rolky BAMTEC, dilatčné rebríky a koše pre tesniacie pásy.

Betonáž

Betonáže boli plánované zvyčajne týždeň dopredu. Dodávateľom betónu, dopravy a betónových čerpadiel bola Skanska Sverige AB. Pri všetkých konštrukciách boli použité výhradne ponorné vibrátory. Betónová zmes bola vysokej kvality, čo prispelo k veľmi dobrému výslednému pohľadovému efektu, ale i pevnostným charakteristikám konštrukcií. Kvalitná betónová zmes vyžadovala aj iný spôsob vibrovania, ako sa



Obr. 11 Pracovníci pri montáži výstuže stien – osádzanie druhej mreže pomocou vežového žeriavu
Fig. 11 Workers installing reinforcement of walls – placing the second net using a tower crane

formwork set available. First the outer formwork for the walls of the first block was erected so that the second team could start to place steel reinforcement. During the installation of the reinforcement, the first team erected the outer formwork on the next block and stripped the inner and outer formwork from walls on the previous block. When the placement of reinforcement (in the bottom slab and the walls together) had been finished, the first team cast the bottom slab and the second team started to place reinforcement on the next block. The erection of the formwork for the walls started at a time lag of 12 hours after casting of the bottom slab. This procedure ensured the continuity of the operations, with the formwork being erected in one block, the formwork being stripped in one block, concrete being cast in this block (the bottom slab or walls) and reinforcement being placed in the next block.

The blocks were cast in a staggered pattern, using the 1, 3, 5, 2, 4, 7 sequence (see Fig. 9) with the aim of eliminating the influence of shrieking.

Reinforcement of the bottom slab was placed simultaneously with the reinforcement of walls. BAMTEC rolls were used during the placement of the lower and upper layers in the bottom slab. Reinforcement strengthening elements and elements connecting the bottom slab with the walls were the only items to be placed and tied up manually. Wall reinforcing bars were fixed to auxiliary reinforcement, which was fixed directly to the formwork by aluminium nails. The first and second reinforcement layers were prepared at a rebar processing plant (a part of which was a concrete paved area adapted to this work), forming nets. The BAMTEC rolls system was even applied to these nets. Complete nets were transported directly to the locations where they were placed by cranes. Other acceleration was achieved by using expansion cages instead of stirrups (see Figures 10 and 11).

Expansion joints between the blocks were sealed by waterstops installed both in the centre and on the outer surface (the so-called fugeband). A special cage was created to allow its installation. It was not therefore necessary to apply the lengthy process of inserting reinforcement designed for this detail. The construction joint between the bottom slab and the walls was immediately treated by a concrete set retarder. The retarder was removed after 24 hours by a pressure washer. This procedure ensured sufficient coarsening of the joint surface. Water-tightness (since the joint was found under the water table level) was provided by a Contaflex galvanised steel waterstop and

zvykne používať na Slovensku. Spočiatku boli obavy, aby sa betón „neprevibroval“, ale po oddebnení prvej konštrukcie všetky obavy pominuli – výsledok bol výborný.

Ďôkazom vysokokvalitných betónových zmesí i precízneho vibrovania boli výsledky pevnostných skúšok ako aj uznanie kvality spracovania od investora.

Skúšky betónov zabezpečovala taktiež Skanska Sverige AB a to tak in situ, ako aj na betonárke.

Zimné opatrenia

Jedným z obmedzujúcich faktorov výstavby bola švédka zima. Tento faktor bol o to nepríjemnejší, že bolo prakticky nemožné naplánovať dostatočne dopredu jej účinky. Stavbu zastihli dve absolútne netypické zimy, ktoré nepredpokladali ani Švédmi sami (sneh až do marca 2010, neobvykle chladný november a december 2010).

Účinky nízkych teplôt na betonárske práce sa eliminovali týmito opatreniami:

- Výrobňa betónu – celoročne tu mali zakryté kamenivo, v zimnom období s ohrevom. Zimná receptúra betónu obsahovala väčší podiel cementu (~ 430 kg/m³). Výrobňa betónu bola schopná ohrevom vody dodržať požadovanú teplotu betónovej zmesi.
- Na stavbe platilo rovnaké pravidlo ako na Slovensku, tj. teplota pracovnej škáry min. 5 °C. Požadovaná teplota sa udržiavala vyhrievaním škár, ich dôsledným prikrývaním a pri napájaní betónových konštrukcií aj zabudovaným vyhrievacím káblom.
- Platilo pravidlo, že betonáž bola prerušená, pokiaľ vonkajšia teplota bola pod -15 °C.
- Samozrejmosťou bolo vykurovanie vodovodných potrubí odporovým káblom a opatrenia obdobné ako v našich zemepisných šírkach.

Napriek tomu, že počasie nebolo možné predvídať, zimné opatrenia boli vykonané tak, že jediné čo výrazne spomalilo práce, bolo časté sneženie.

Samozhŕňovací betón (Selfcompacting concrete SCC)

Po ukončení prác na hĺbenom tuneli 112 sa pokračovalo s výstavbou objektu 162 (obr. 12). Bola to podzemná elektroobslužňa realizovaná taktiež systémom hĺbenia. Výška nadložia bolo však malá, a tak tento objekt mal prakticky parametre klasickej budovy. Celá bola vybudovaná z liateho betónu a keďže steny, a predovšetkým vnútorné priečky, boli dosť subtílné



Obr. 12 Pohľad na objekt 162
Fig. 12 View of structure 162

a bentonite Hy-Dra Waterstop. Both waterstops were connected to the waterstops at the ends of the blocks.

The work on the roof deck commenced at a time lag – after completing the casting of the 8th block of the bottom structure. It was performed by a team of four, which carried out all associated activities – striking the traveller formwork, moving it and installing it in the new position, completing the roof deck formwork, placing reinforcement and casting concrete. BAM-TEC rolls, expansion joint ladders and reinforcement cages holding the waterstops in position were also applied to the roof deck, with the aim of accelerating the reinforcement placing operations.

Concrete casting operations

Concrete casting operations were usually planned in a one-week advance. Concrete, transport services and concrete pumps were supplied by Skanska Sverige AB. All structures were cast solely using immersion vibrators. High-quality concrete mixture was used, which fact contributed achieving very good visual effect as well as excellent strength-related characteristics of structures. The high-quality concrete mix even required a vibration procedure different from the procedure used in Slovakia. In the beginning, there were fears of “overvibrating” the concrete. Fortunately, all fears disappeared after stripping the formwork from the first structure. The result was excellent.

The high quality of concrete mixtures and precise vibration was proved by results of strength tests as well as the acknowledgement of the concrete processing quality by the client.

Concrete testing was also carried out by Skanska Sverige AB, both in situ and at the batching plant.

Winter measures

One of the construction restricting factors was the Swedish winter. This factor was even more unpleasant because of the fact that it was virtually impossible to plan its effects in a sufficient advance. The construction experienced two non-typical winters even the Swedes had not expected (snow until March 2010, unusually cold November and December 2010).

The influence of low temperatures on concrete casting operations was eliminated through the following measures:

- Concrete batching plant – aggregates were covered permanently throughout a year, with heating provided during the winter season. The winter mix composition contained a higher proportion of cement (~ 430 kg/m³). The batching plant was capable of maintaining the prescribed temperature of concrete mix by heating of mixing water.
- The minimum temperature of the construction joint of 5°C, which was applicable for the construction, was identical with conditions in Slovakia. The required temperature was maintained by means of heating the joints, thorough covering of the joints, even by the installation of trace heating embedded in the joints when connecting subsequent concrete structures.
- A rule was observed that the concrete casting operation was suspended if the ambient temperature dropped under -15°C. Trace heating cables protecting water pipelines and measures similar to those applied in our latitudes were a commonplace.

Despite the fact that weather could not be forecast, the winter measures were implemented. Therefore the only effect capable of slowing the works down was frequent falling of snow.

(hrúbka 40 cm), zvažovalo sa použitie SCC. Skanska už vo Švédsku s úspechom tento druh betónu použila pri výstavbe budov.

Ide o betón riedkej konzistencie, ktorý má schopnosť samozhutnenia. Jeho použitie má veľa výhod, ale aj niekoľko nevýhod.

Výhody:

- bezproblémová betonáž úzkych, neprístupných konštrukcií, či konštrukcií s veľkým množstvom oceľovej výstuže,
- schopnosť zmesi výborne obopnúť oceľovú výstuž,
- lepší proces tvrdnutia betónu – pri rovnakom obsahu cementu sa dosahujú vyššie pevnosti betónu,
- vyššia rýchlosť betonáže s menším počtom pracovníkov (obvykle 2–3 pracovníci, odpadá potreba vibrovania) než pri použití klasického betónu,
- lepšie pracovné prostredie – komfortná práca s betónom.

Nevýhody:

- požiadavka plynulosti betonáže – medzi zalievaním jednotlivých vrstiev nesmie byť dlhšia pauza než 30–35 min, ideálny stav je do 15 min,
- betonáž konštrukcií s maximálnym úklonom povrchu 4 % (tekutosť SCC),
- precízna stavba debnenia bez škár V, požiadavka na väčšiu tuhosť debnenia – ideálne kvalitatívne výsledky sa dosahujú pri kontinuálnej betonáži, keď betónová zmes sa leje do debnenia bez prestávky a pokiaľ možno, aj menším tempom,
- vyššia cena o cca 15 € na m³ betónovej zmesi (rozdiel ceny vo Švédsku).

Použitie SCC sa osvedčilo pri budovaní objektu 162, oporných múrov (hrúbka stien 30–40 cm) a pri budovaní pilierov pre dočasný most (betonovala sa naraz výška nad 10 m).

BEZPEČNOSŤ PRÁCE A PRACOVNÉ PROSTREDIE

Na stavbe bol kladený veľký dôraz na bezpečnosť pri práci a s tým súvisiacu kvalitu pracovného prostredia. Na stavbe sa vykonávali pravidelné bezpečnostné obhliadky (1x týždenne). Zúčastňovali sa na nich technik BP, robotník, technik výroby, člen vedenia projektu a zástupca investora. Okrem technika BP sa ostatní členovia každý týždeň menili. Tak bola zabezpečená diverzifikácia pohľadov na BP na jednotlivých častiach stavby. Čo sa týka technikov výroby, raz sa zúčastnil technik povrchovej sekcie (Mark blocket = zemné práce), inokedy podzemnej sekcie (razenie, resp. dokončovacie práce v tuneli). Raz do mesiaca sa na tejto bezpečnostnej inšpekcii („safety round“) zúčastňoval niekto zo Skanska Sverige nepôsobiaci na stavbe. Treba konštatovať, že prístup k týmto obhliadkam bol zo strany všetkých účastníkov veľmi profesionálny a seriózný. Závery bezpečnostnej inšpekcie boli spísané a vždy ich plnenie spätne kontrolované na nasledujúcej obhliadke.

Čo je bezpochyby poučné, je účasť robotníkov a ich priame zainteresovanie do tejto problematiky, ako aj diverzifikácia pohľadov. Výsledkom obhliadok neboli nikdy postihy, či sankcie. A napriek tomu, či práve preto, mali pozitívny vplyv na BP. Nedostatky sa opakovali len sporadicky.

Ďalším nástrojom zvyšovania BP na stavbe boli pravidelné školenia, resp. diskusie vždy pred začatím novej konštrukcie, či aplikácie nového pracovného postupu. Nikdy nebol problém skončiť s prácou o 15–20 min skôr a venovať ich diskusií s robotníkmi.

Švédski kolegovia nás naučili, že stres a napätie na stavbe vyvolané zlou komunikáciou či tlakom na tempo výstavby neprispieva k urýchleniu prác. Výsledkom je rizikové pracovné prostredie a nedostatočná kvalita prác. V súlade so švédskymi pravidlami a kolektívnou zmluvou boli dodržiavané tzv. coffee breaks – prestávky na kávu. Počas 11hodinovej zmeny mali pracovníci nárok na 2 prestávky na kávu (po 15 min) a 1 obednú prestávku (1 h). Tento systém, i keď bolo potrebné si naň

Self-compacting concrete, SCC

When the work of the cut-and-cover tunnel 112 was finished, it continued on the construction of structure 162 (see Fig. 12), which was an underground electrical services facility also built by the cut and cover technique. Since the overburden height was small, the character of this structure was that of a classical building. The whole building was designed in cast concrete. Because the walls, first of all inner dividing walls, were rather slender (40 cm thick), the use of the SCC was contemplated. Skanska had successfully used this type of concrete in Sweden in the construction of buildings.

The SCC is concrete with thin consistence, which is capable of self-compacting. Its use offers many advantages; on the other hand, it suffers from several disadvantages.

Advantages:

- trouble-free casting of thin, inaccessible structures or structures containing great amounts of reinforcing bars,
- the ability of the mixture to perfectly encapsulate reinforcing bars,
- improved concrete hardening process – higher strengths of concrete are achieved with the same content of cement,
- higher speed of casting concrete, which is performed by a smaller number of workers (usually 2-3 workers, the need for vibrating is eliminated), than if classical concrete is used,
- better working environment – a comfortable concrete casting process.

Disadvantages:

- an uninterrupted concrete casting process is required – the break between individual lifts must not exceed 30 – 35 minutes; 15-minute breaks are ideal,
- the maximum slope of the surface of structures to be cast is 4% (the liquid character of the SCC),
- precise structure of formwork without V joints and higher toughness of the formwork is necessary – ideal quality results are achieved if the casting process is continual, with the concrete mixture poured behind the formwork without any break and, if possible, at a smaller rate,
- the cost is higher by about 15 € per m³ of concrete mixture (the difference existing in Sweden).

The use of SCC acquitted itself during the construction of structure 162, retaining walls (30 – 40 cm thick) and when pillars for a temporary bridge (a height over 10 m was cast as one pour) were being constructed.

SAFETY AT WORK AND WORKING ENVIRONMENT

The significance of safety at work and associated quality of the working environment was placed great stress on on the construction site. Site safety rounds were conducted regularly, once in a week, with the participation of a health & safety technician, a worker, a production technician, a member of project management and client's representative. Apart from the HS technician, the other members were exchanged every week. This system ensured the diversification of views on safety in individual parts of the construction. As far as the production technicians are concerned, one week the safety round was attended by a technician from the surface operations section (Mark Blocket = Earthwork Operations), another time the technician was from the underground operations section (driving tunnels or performing finishing work in tunnels). Once in a month a representative of Skanska Sverige not directly employed on the site took part in the safety round. It must be stated that the attitude toward the inspections adopted by all of the participants was very professional and business-like. Conclusions of the safety round were recorded and fulfilling of the agreed measures was always checked during the following visit.



Obr. 13 Pohľad na južnú časť tunela I12
Fig. 13 View of the southern part of tunnel I12

zvyknúť, mal tiež výrazný vplyv na dobrú pracovnú atmosféru. Pri extrémnych zimných teplotách sme pracovníkom poskytli o 2 prestávky navyiac.

Na stavbe sa používali osobné ochranné pracovné pomôcky vysokej kvality a funkčnosti, čo určite prispelo k BP a pracovnej pohode robotníkov. Ochranné okuliare musel nosiť každý, kto sa pohyboval v areáli stavby.

Novinkou bola tzv. kniha pracovných rizík. Je to forma zápisu pracovných rizík pracovníkmi všetkých stupňov. Pri každej pracovnej operácii, pri každej novej situácii na stavbe si pracovníci zapisujú pracovné riziká, ktoré pri jej vykonávaní zaznamenali. Špecifikácia pracovných rizík tak dostala nový rozmer a podarilo sa minimalizovať riziká na minimum.

Stavba dostala počas svojej existencie (2009–2010) tri ocenenia za bezpečnosť pri práci a pracovné prostredie. Dvakrát (za rok 2009 a 2010) cenu za najbezpečnejšiu stavbu regiónu Štokholm v pôsobnosti Trafikverketu (švédska správa dopravy) a cenu za najbezpečnejšiu stavbu Skanska vo svete (za rok 2010). Toto všetko svedčí o tom, že bezpečnosť pri práci a bezpečné pracovné prostredie tu bolo na prvom mieste.

ZÁVER

Práca vo Švédsku, tak v podzemí ako aj na povrchu, bola veľmi dobrou skúsenosťou. Spolupráca Skanska Sverige AB a Skanska SK a. s. bola príkladná a spokojní boli aj ostatní účastníci stavby, vrátane investora (obr. 13).

Skúsenosť, že bezpečnosť na stavbe sa týka všetkých, nie len jednotlivca, zlepšila náš doteraz skeptický postoj k technikom BP a ich metódam.

Severská zima a prístup k jej zdolávaniu, zavádzanie inovatívnych postupov a riešení, starostlivosť o pracovníkov, to všetko bolo pre nás prínosom a poučením užitočným v budúcnosti.

Veríme, že na základe tejto pozitívnej skúsenosti vo Švédsku sa nám časom podarí vytvoriť podobné modely práce aj u nás v strednej Európe.

**ING. PETER BALUŠÍK, peter.balusik@skanska.sk,
Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK**

Recenzoval: Ing. Miloslav Frankovský

What is undoubtedly instructive is the participation of workers and their motivation in these problems, as well as the diversification of views. The safety rounds were never followed by penalties or sanctions. Despite this fact, or just for that reason, they positively affected the HS. The imperfections were repeated only sporadically.

Another tool for increasing safety at work on site were regular training sessions or discussions before starting a new structure or before applying a new work procedure. Ending the work 15-20 minutes earlier and dedicating this time to a discussion with workers had never posed any problem.

Swedish colleagues taught us that stress and tension on site due to poor communication or pressures on the construction speed did not contribute to the acceleration of work. Their result is a risky working environment and insufficient quality of work. In compliance with Swedish rules and a collective agreement, the so-called coffee breaks were observed. Workers were entitled to two 15-minute coffee breaks and one 1-hour lunch break during an 11-hour shift. Despite the fact that it was necessary to get used to it, this system also significantly influenced the working atmosphere. During extreme winter temperatures we allowed workers to take additional two breaks.

High quality and high functionality personal protective equipment was used on site. This fact obviously contributed to the HS and comfort during work. Goggles had to be worn by all persons moving within the site area.

A register of risks at work was a novelty for us. It is a form of recording of risks at work by employees working at all levels. Workers put down notes of the risks they noticed while carrying out the work during every work operation, in each new situation on site. Thus the specifics of risks at work were assigned a new dimension and the risks were successfully minimised.

During its existence (2009 – 2010), the construction was recognised with three awards for safety and working environment excellence. In addition, it received two awards for the safest construction of the Stockholm region controlled by the Swedish Transport Administration, Trafikverket (for 2009 and 2010) and an award for the safest Skanska construction in the world (2010). All of this gives evidence of the fact that safety at work and safe working environment came first during this construction.

CONCLUSION

The work in Sweden, both underground and on the surface, yielded very good experience. The collaboration of Skanska Sverige and Skanska SK a.s. was exemplary and even all of the other parties, including the client, were satisfied (see Fig. 13).

The experience that safety at work on site is of concern of all parties and workers, not only an individual, improved our, till that time sceptical, attitude toward HS technicians and their methods.

Arctic winter and the approach toward coping with it, the implementation of innovative procedures and solutions, the care of workers – all of that was a benefit and a lesson for us to be used in the future.

We believe that we will succeed, on the basis of the experience gained in Sweden, in developing similar models even in our country, in Central Europe.

**ING. PETER BALUŠÍK, peter.balusik@skanska.sk,
Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK**

LITERATURA / REFERENCES

Archív firmy Skanska SK a. s.

GEODETICKÉ PRÁCE PRI REALIZÁCI TUNELOVÝCH A OSTATNÝCH PODZEMNÝCH STAVIEB V DOPRAVNOM STAVITEĽSTVE SURVEYING FOR TUNNELING CONSTRUCTIONS AND OTHER UNDERGROUND CONSTRUCTIONS IN TRANSPORT ENGINEERING INDUSTRY

PETER FERANČÍK

ÚVOD

Jedným z najdôležitejších faktorov kvality každej stavby v dopravnom staviteľstve je nepochybne geometrická presnosť stavebných objektov. V záujme splnenia tejto požiadavky sú veľmi dôležitými účastníkmi v procese výstavby inžinierski geodeti (v podzemí banskí merači), ktorí ako vysoko špecializovaný tím musia byť prítomní na každej stavbe. Článok je zameraný na plnenie ich úloh pri výstavbe podzemných líniových diel – tunelov, štôlní, šácht, s rôznymi špecifikami týchto prác tak z pohľadu použitej metódy výstavby, ako aj z pohľadu rozdielnych nárokov niektorých krajín, kde sa podzemné stavebné práce realizovali. Opisované geodetické práce sa vykonávali na tuneloch razených buď Novou rakúskou tunelovacou metódou (NRTM), alebo tzv. Nórskou tunelovacou metódou (NTM).

Rozšírenie spomenutých metód je lokálne ohraničené. NTM je používaná prakticky výhradne len v škandinávskych krajinách (Nórsko, Švédsko, Fínsko), kde horninové prostredie je tvorené spravidla kompaktnými a veľmi súdržnými granitmi. Na ostatnom území Európy je spravidla používaná NRTM.

Neoddeliteľnou súčasťou nielen pri opisovaných, ale aj pri všetkých ostatných metódach razenia tunelov sú geodetické (meračské) práce, ktoré si vyžadujú aplikáciu najmodernejších meračských metód a technológií. Článok sa zameriava iba na dve vybrané metódy (NRTM a NTM), pretože všetky tunelové stavby, na ktorých sa vykonávali opisované geodetické práce, boli realizované iba týmito dvomi metódami.

GEODETICKÉ MERANIA NA TUNELOCH RAZENÝCH NRTM

NRTM je metóda, ktorá využíva výsledky z denných meraní 3D posunov tunelového ostenia (meranie konvergencie) potrebné pre priebežnú optimalizáciu vystrojovacích prvkov tunela počas razenia a je teda úzko previazaná s meračskými prácami v tuneli.

- Geodetické merania pri NRTM môžeme rozdeliť nasledovne:
- budovanie bodov základnej vytyčovacej siete (ZVS) a podrobnej vytyčovacej siete (PVS) a určenie ich polohy a výšky presným polygónovým a výškovým meraním,
 - vytyčovanie a usmerňovanie razenia,
 - zameranie skutočného vyhotovenia denného postupu razenia a kontrola presnosti denného postupu vyrazeného tunela,
 - meranie 3D posunov v tuneli,
 - geodetické práce pri reprofiliácii tunela,
 - geodetické práce pri zhotovovaní sekundárneho ostenia tunela a vozovky (prípadne železničného zvršku pri železničných tuneloch).

Vytyčovacie práce a usmerňovanie razenia pri NRTM

Na vytyčovanie a usmerňovanie razenia sa využívajú laserové systémy. Tieto sú spravidla tvorené buď štandardnými trubcovými líniovými lasermi, alebo „Automatickými vytyčovacími laserovými systémami“ (AVLS). Použitie líniových laserov je stále

INTRODUCTION

One of the most important factors of quality of any traffic engineering structure is undoubtedly geometrical accuracy of structures. It is therefore in the interest of meeting this requirement that engineering surveyors (mine surveyors in the underground) are very important participants of the construction process. As a highly specialised team they must be present on each construction site. This paper is focused on fulfilling their tasks in the construction of underground linear structures – tunnels, adits, shafts – with various specifics of these works in terms of both the construction method used and different requirements existing in some countries in which the underground structures were carried out. The survey described in the paper was performed for tunnels driven using the New Austrian Tunnelling Method (NATM) and the so-called Norwegian Tunnelling Method (NTM).

The spread of the above-mentioned methods is locally bounded. The NTM is used virtually exclusively in Scandinavian countries (Norway, Sweden, Finland), where the ground environment is formed by usually compact and highly coherent granites. The NATM is usually applied within the other areas of Europe.

Surveying, requiring the application of the state-of-the-art survey methods and equipment, is an inseparable part not only of the methods described in this paper but also of all other tunnelling methods. The paper is focused only on two selected methods (the NATM and the NTM) because of the fact that all tunnelling projects where our survey activities were carried out were realised using these two methods.

SURVEYING FOR TUNNELS DRIVEN BY THE NATM

The NATM is a method using results of measurements of displacements of a tunnel lining (convergence measurements) conducted every day to allow the continual optimisation of the excavation support elements during the course of the excavation. It is therefore closely connected with surveying in tunnels.

Surveying for the NATM can be divided as follows:

- establishing points of the basic setting out net (BSN) and detailed setting out net (DSN) and determining their position and altitude by traversing and vertical survey.
- setting out and guiding the drive,
- taking the bearings of the actual day's advance and checking on accuracy of the excavation completed during the day,
- 3D measurement of displacements inside the tunnel,
- surveying for re-profiling of the tunnel,
- surveying during the construction of the secondary tunnel lining and the roadway (or the track in railway tunnels).

Setting out and guidance during the NATM excavation

Laser systems are used for setting out and guidance. The systems are usually based on standard tubular linear lasers or

dost' rozšírené, a to tak u nás, ako aj v zahraničí (Slovinsko, Chorvátsko, ČR, Taliansko, Rakúsko).

Líniový laser slúži vlastne len na zviditeľnenie priestorovej referenčnej priamky, od ktorej sú následne počítané ortogónálne vytyčovacie prvky (staničenie a kolmica) spravidla k presne určenému prvku na podpernom oblúku (nosník ARCUS, BRETEX, TH,...).

Väčšina štandardných dvojpruhových cestných tunelov je členená počas razenia do troch vertikálnych častí – kaloty, stupňa a protiklenby. Obvyklé rozmiestnenie a počet líniových laserov je, že tri lasery sú v kalote a dva na stupni.

Na výpočet vytyčovacích prvkov sú využívané buď graficko-početné metódy (spojenie kresliaceho programu napr. AutoCAD a vhodného výpočtového programu napr. GEUS, EXEL, REFLINE), alebo moderné softvéry vyvinuté priamo pre geodetické práce na tunelových stavbách.

V geodetickej skupine Závodu Tunely SK spoločnosti Skanska SK a. s., sa využívajú softvéry od firiem Angermeier (Powervermessung, Geo 2000, ARCTech.) a od firmy AMBERG (TMS – Tunnel Measurement System). Obidve skupiny softvérov sú stále používané na stavbách, kde vykonávajú geodetické merania naši geodeti, avšak v poslednom čase je viac využívaný balík TMS od firmy AMBERG, pretože ide o kompletný softvérový balík pre geodetické práce v tuneli. Softvér obsahuje viacero samostatných programov – TMS Office, TMS ProScan Plus, TMS SetOut, TMS Tunnelscan. Práca v tomto programovom balíku je veľmi efektívna.

V programe TMS Office sú zadefinované všetky projektované parametre tunela – os tunela, pozdĺžny rez, priečny rez, priečny náklon, zmena priečného profilu. Následne sú zamerané laserové lúče líniových laserov v priestore tunela (spravidla dvomi bodmi). Tieto sú potom zadefinované do programu a program následne vypočíta všetky potrebné vytyčovacie prvky pre správne postavenie priehradového oblúka primárneho ostenia tunela.

Automatic Setting out Laser Systems (ASLS). The use of linear lasers has still been quite much spread, both in our country and abroad (Slovenia, Croatia, Italy, Austria).

A linear laser is practically used only for visualising a spatial reference line from which orthogonal setting out elements (chainage and the perpendicular line) are subsequently calculated, usually in relation to an exactly specified point on a supporting frame (ARCUS, BRETEX, TH,...).

The majority of standard double-lane road tunnels are divided during the excavation into three vertical parts – top heading, bench and invert). The usual layout and number of linear lasers is: three lasers in top heading and two in the bench.

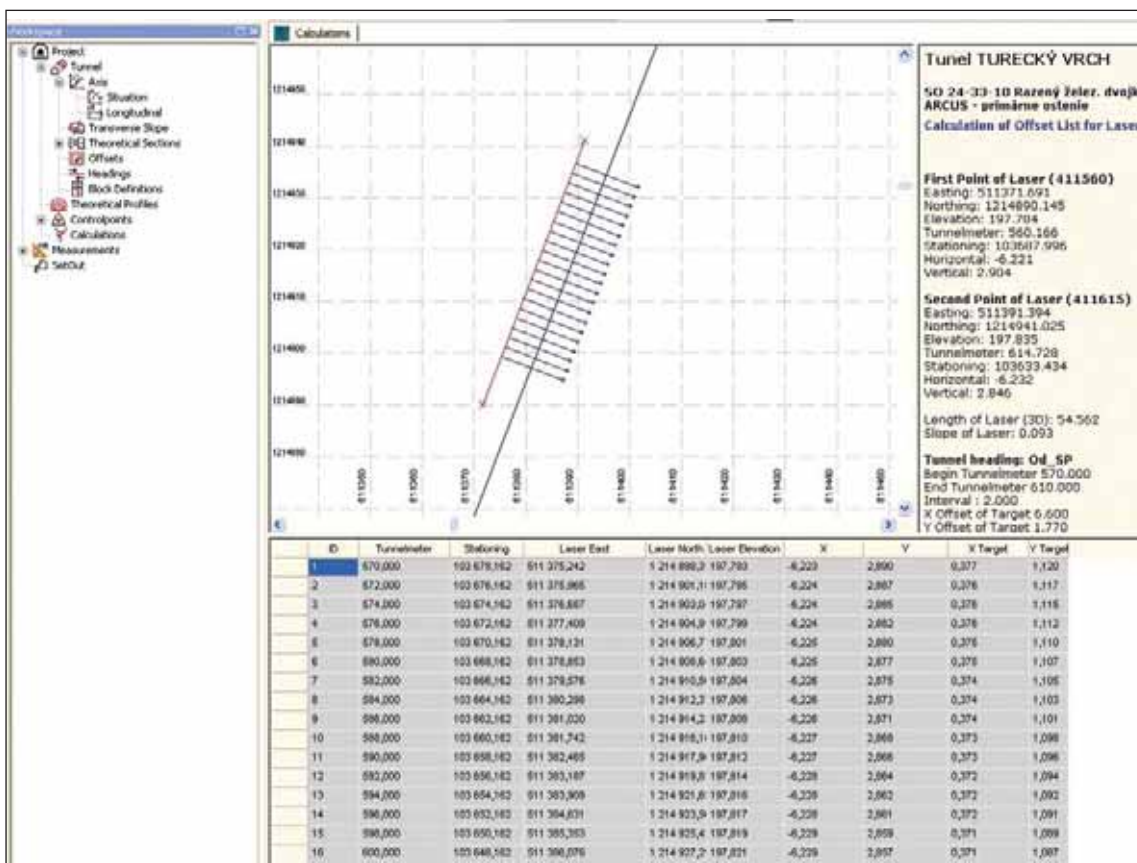
The calculation of setting out elements is carried out using methods (combining drawing software, e.g. AutoCad, with a suitable calculation program, e.g. GEUS, EXEL, REFLINE) or modern software developed directly for surveying on tunnel construction sites.

Angermeier's Powervermessung, Geo 2000, ARCTech. and AMBERG's Tunnel Measurement System (TMS) software is used in the department of survey of Tunely SK plant of Skanska SK. Both software groups have still been used on construction sites where survey measurements are carried out by our surveyors. However, AMBERG's TMS package has been recently used more because it is a complete software package for surveying in tunnels. The software contains more separate programs - TMS Office, TMS ProScan Plus, TMS SetOut, TMS Tunnelscan. The work using this program package is very effective.

All design parameters of the tunnel (tunnel centre line, longitudinal section, cross-section, transverse incline, changes in cross-section) are put in the TMS Office program. Bearings of laser beams of linear lasers in the tunnel space are taken subsequently (usually on two points). They are then put in the program. The program subsequently calculates all setting out elements required for the correct incorporation of the frame into the

tunnel primary lining. The form of the setting out protocol (the program output) is obvious from Fig. 1.

The other, much more modern and sophisticated solution for guiding the excavation is the use of the ASLS. In substance, it is a combination of a survey instrument – a total station (electrical-optical theodolite with a distance meter) and a linear laser. Significant progress has been experienced of late even in this field. Practically the majority of world's manufacturers produce total stations with a setting out laser installed directly in the instrument, on the optical axis of the telescope. The



Obr. 1 Protokol o výpočte vytyčovacích prvkov v programe TMS Office. Autor – Ferančík

Fig. 1 Protocol on the calculation of setting out elements in TMS Office program. Author – Ferančík



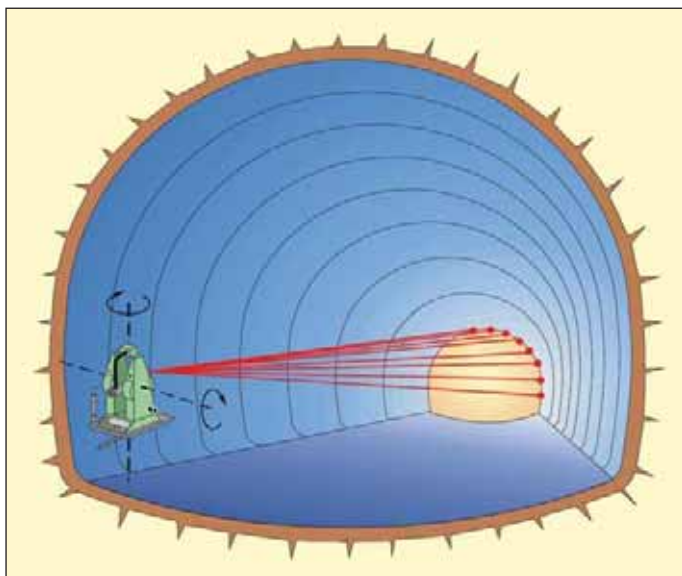
Obr. 2 Zostava kompletu AVLS (Motorlasera) – riešenie firmy Angermeier – SRN. Autor – Feraňčík

Fig. 2 The set of the AVLS (Motorlaser) package – Angermeier (FRG) solution. Author – Feraňčík

Forma vytyčovacieho protokolu (výstupu z programu) je zrejماً z obr. 1.

Druhým podstatne modernejším a sofistikovanejším riešením na usmerňovanie razenia je využitie AVLS. Ide vlastne o spojenie geodetického prístroja – totálnej stanice (elektrooptický teodolit s diaľkometerom) a líniového lasera. V poslednom čase došlo aj v tejto oblasti k výraznému pokroku. Prakticky väčšina svetových výrobcov už vyrába totálne stanice s vytyčovacím laserom umiestneným priamo v prístroji v optickej osi ďalekohľadu. V geodetickej skupine firmy Skanska SK sa využívajú výhradne len prístroje firmy Leica, ktoré sú vo vývoji týchto vytyčovacích systémov vyvíjaných spoločne s firmou AMBERG (TMS) na špičke svetových ucelených geodetických riešení pre meranie v tuneloch.

AVLS, často nazývaný tiež „motorlaser“, pozostáva spravidla z totálnej stanice a radiaceho počítača s diaľkovým ovládaním (riešenie firmy Angermeier) – obr. 2, alebo len z totálnej stanice s diaľkovým ovládaním (tzv. remote control – obr. 3) vybavenej špeciálnym softvérom (TMS Set out). Práca a príprava vytyčovacích parametrov prebieha nasledovne.



Obr. 4 Ukážka vytyčovania bodov Motorlaserom pre postavenie priehradového nosníka. Autor – Manuál k programu TMS-Leica

Fig. 4 Presentation of setting out points applying a Motorlaser to the installation of a frame. Author – Program manual for TMS-Leica



Obr. 3 Ďialkové ovládanie AVLS (Motorlasera) – riešenie firmy Amberg-Leica – Švajčiarsko. Autor – Manuál k programu TMS-Leica

Fig. 3 AVLS (Motorlasera) remote control – Amberg-Leica (Switzerland) solution. Author – Program manual for TMS-Leica

department of survey of Skanska SK uses exclusively instruments produced by Leica, which are at the worldwide cutting edge of the field of comprehensive survey solutions for measurements in tunnels, together with AMBERG's TMS.

The ASLS, which is often called “the motorlaser”, usually comprises a total station and a remotely controlled process control computer (Angermeier's solution) (see Fig. 2) or only a remotely controlled total station (see Fig. 3) equipped with special software (TMS Set out). The work and preparation of setting out parameters were carried out as follows:

The same as in the previous case of using linear lasers, design geometrical parameters are put in the guidance program of the total station and, as well as measurement check points in the tunnel (usually convergence measurement points). Subsequently an ASLS total station (the motorlaser) is installed on a bracket in the tunnel and data on its location (coordinates X, Y, Z) and orientation are put in. The ASLS complex prepared in this way is prepared for setting out. Setting out is usually carried out by shift technicians. For setting out the current position of a frame it is only necessary to select the respective part of the tunnel tube (the top heading or part of top heading, the bench) and filling of the current chainage of the frame. After this data has been put in the program, the instrument sets out pre-defined points around the arch circumference. The procedure is obvious from Fig. 4.

In the Slovak tunnels where surveying was carried out by our surveyors, we used both Angermeier's system (the Branisko tunnel and Sitina tunnel) and AMBERG's system (the Bôrik tunnel).

The use of the ASVS for the excavation guidance is certainly a very modern and effective method. The disadvantage of this method lies in significantly higher acquisition costs compared to linear lasers and, in the case of a defect or damage to the instrument, the loss of the entire setting out system for the tunnel, taking into consideration the fact that this setting out complex usually serves more parts of the tunnel tube. On the one hand, changing or replacing the ASLS is simple; on the other hand, it requires a stand-by instrument, which is necessary to be present on site. This cost item cannot be neglected. In addition, the work with the ASLS requires well trained operators, first of all skilled in using the TMS Set out system. In any case, the use of the ASLS setting out complexes is a proper way to the future. Over time it will completely replace the use of classical linear lasers. In more developed European countries (Switzerland, Austria, Germany) it is practised already today.

Taking the bearings of the actual day's advance and checking on accuracy at the NATM

Even despite the use of the state-of-the-art excavation guiding systems it is impossible when erecting a frame and other operations on the arch to exclude a certain inaccuracy caused either by

Do riadiaceho programu totálnej stanice sú rovnako ako v predchádzajúcom prípade pri použití líniových laserov zadefinované geometrické parametre projektu a navyiac kontrolné meračské body v tuneli (spravidla body na meranie konvergencie). Následne je totálna stanica AVLS (motorlaser) osadená na konzolu do tunela a sú zadefinované údaje o jej polohe (súradnicami X, Y, Z) a orientácii. Takto nastavený komplet AVLS je pripravený k vytyčovaniu. Vytyčovanie je realizované spravidla zmenovými technikmi. Na vytyčenie aktuálnej polohy priehradového oblúka je už len vybraná požadovaná časť tunelovej rúry (kalota, poprípade časť kaloty, stupeň) a je zadané aktuálne staničenie priehradového oblúka. Po zadaní týchto údajov prístroj vytyčuje vopred zadefinované body po obvode oblúka. Postup je zrejímavý z obr. 4.

Na slovenských tuneloch, kde boli geodetické práce vykonávané našimi geodetmi, boli využívané tak komplety od firmy Angermeier (tunel Branisko, tunel Sitina) ako aj komplety od firmy AMBERG (tunel Bôrik).

Využitie AVLS pri usmerňovaní razenia je rozhodne veľmi modernou a efektívnou metódou. Jej nevýhodou sú podstatne vyššie obstarávacie náklady oproti líniovým laserom a v prípade poruchy, alebo poškodenia prístroja, strata celého vytyčovacieho systému pre tunel, pretože spravidla tento vytyčovací komplet obsluhuje viacero častí tunelovej rúry. Výmena alebo nahradenie AVLS je síce jednoduchá a rýchla, vyžaduje si však náhradný prístroj, čo je nezanedbateľná cenová položka, pretože je potrebné mať na stavbe rezervný komplet. Práca s AVLS si tak isto vyžaduje dobre zaškolenú obsluhu predovšetkým pri používaní riešenia TMS Set out. V každom prípade je však použitie vytyčovacích kompletov AVLS určite cestou do budúcnosti, ktorá časom celkom nahradí používanie klasických líniových laserov. Vo vyspelejších a rozvinutejších krajinách Európy (Švajčiarsko, Rakúsko, Nemecko) sa to už v súčasnosti praktizuje.

Zameranie denného postupu razenia a kontrola presnosti pri NRTM

Aj napriek použitiu najmodernejších systémov na usmerňovanie razenia nie je možné pri ustavovaní priehradového oblúka ako aj ďalších operáciách s oblúkom vylúčiť určitú nepresnosť zapríčinenú buď ľudským faktorom, alebo samotnou geometrickou presnosťou používaného oblúka (ARCUS, BRETEX, TH).

Z tohto dôvodu je potrebná nezávislá denná kontrola spravidla každého oblúka, ako aj striekaného betónu primárneho ostenia tunela. Na kontrolu sa využíva výhradne meranie polárnou metódou. Na určenie polohy a orientácie prístroja sa využíva aplikačný program prístroja – Volné stanovisko. Používajú sa tak isto prístroje firmy Leica, vybavené spomenutým softvérom TMS, konkrétne aplikačným programom TMS ProScan plus. Veľkou výhodou tohto riešenia je tak využívanie celej databázy a štruktúry projektu, ktorá je už zadefinovaná a vypočítaná pri vytyčovaní a usmerňovaní (opísaná v predošlej kapitole), ako aj možnosť okamžitého vyhodnotenia nameraných údajov, resp. zobrazenia a porovnania nameraných údajov s projektom priamo v tuneli na displeji prístroja. V prípade, ak je geodet prítomný pri ustavovaní oblúka v tuneli, tak môže súčasne kontrolovať osadenie aktuálneho oblúka na čele tunela a kontrolne zmerať priečne profily už hotových profilov primárneho ostenia zhotovených v priebehu predchádzajúcich pracovných zmien. Okamžite tiež upozorňuje prevádzkových technikov na prípadné nepresnosti.

Ďalšou veľkou výhodou tohto softvérového riešenia (TMS ProScan plus) je možnosť automatického merania priečných profilov tunela, čo sa využíva hlavne pri väčších denných postupoch razenia, ako aj pri neskoršej reprofiliácii tunela. Všetky namerané profily sú následne vyhodnotené ešte v programe TMS Office a vytlačené a expedované v papierovej forme zainteresovaným účastníkom stavby (prevádzka, stavebný dozor, projektant). Vyhodnotenie je zrejímavé z obr. 5.

the human factor or the geometrical inaccuracy of the arch used (ARCUS, BRETEX, TH).

For that reason independent daily checking usually on each arch and shotcrete primary lining of the tunnel is required. The checks are carried out, it is possible to say, solely using the polar method. The position and orientation of the instrument is determined using the application software for the Free Station instrument. Instruments manufactured by Leica are also used. They are equipped with the above-mentioned TMS software, concretely the TMS ProScan plus application program. The great advantage of this solution is that the entire database and structure of the design, which was put in and calculated during the work on setting out and guiding the excavation (as described in the previous chapter), and the possibility of immediate evaluation of the measured data or visualisation and comparison of the measured data with the design directly in the tunnel, is available on the instrument display. If the surveyor is present during the erection of the arch in the tunnel, he or she can simultaneously check on the installation of the actual arch at the tunnel face and perform check survey of cross-sections of the profiles of the primary lining completed during previous shifts. They instantaneously give notice to operating technicians about contingent inaccuracies.

Another great advantage of this software solution (TMS ProScan plus) is the possibility of the automatic measurement of the tunnel cross-sections. This advantage is made use of first of all in the cases of higher daily advance rates and later when the tunnel is being re-profiled. All measured profiles are subsequently assessed using TMS Office program. They are printed and hard copies are handed over to all parties involved (operation, site supervision, designer). The assessment is presented in Fig. 5.

3D measurement of displacements inside the tunnel for the NATM

For the NATM, 3D measurements of displacements of the primary tunnel lining (in the praxis also called convergence measurements) are extremely important. They allow the confirmation of the adequacy of the tunnel lining thickness proposed to be optimised or its thickness to be increased (but also reduced). The most precise instruments are used for the 3D measurements. There are instruments Leica TC 1800 and Leica TCRM 1201 used in our department of survey. These high precision instruments feature angle accuracy of 1" (0.3 mgon) and the distance meter accuracy of 1mm +/- 1,5 ppm. If certain geometrical principles are used and a suitable method and configuration of the points to be surveyed are chosen, it is possible to achieve the measurement accuracy of +/- 1 to 2 mm. In a certain way this is relative accuracy. This accuracy is defined by the standard deviation calculated from two or more independent measurements on the same point (or more points) on the convergence profile surveyed within a short interval of time (so that contingent movement of the point is excluded) at the measurement accuracy inverse analysis of using generally applicable formulas for the calculation of standard deviations.

The effort is apparent in recent years to absolutise this accuracy by means of the so-called supervision over the geotechnical monitoring, the part of which are 3D measurements of displacements in the tunnel. As a matter of fact this is continual improving of measurements using substantially more demanding methods (traversing, network measurement with great number of redundant measurements) with the aim of approaching the real 3D position of the surveyed point as close as possible. The reason of this effort is the use of the points on convergence profiles for guiding the excavation even during the subsequent phases of the tunnel construction as the detailed setting out net (DSN) in the tunnel. The DSN points in the tunnel are usually surveyed from the basic setting out net points installed for the tunnel on

Meranie 3D posunov tunelového ostenia pri NRTM

Pri NRTM má meranie 3D posunov primárneho ostenia tunela (v praxi je tiež používaný výraz meranie konvergenencie) veľký význam z dôvodu optimalizácie potvrdenia dostatočnosti navrhnutej hrúbky ostenia tunela, poprípade jej zosilnenia (alebo aj zoslabenia). Na meranie 3D deformácií sa využívajú najpresnejšie prístroje. V našej geodetickej skupine sú to prístroje Leica TC 1800 a Leica TCRM 1201. Ide o veľmi presné prístroje s uhlovou presnosťou 1" (0,3 mgon) a presnosťou diaľkomera 1mm \pm 1,5 ppm. Pri použití určitých geometrických zásad, vhodnej voľbe metódy a konfigurácií meraných bodov konvergenčných profilov je možné dosiahnuť presnosť merania \pm 1 až 2 mm. Určitým spôsobom ide o relatívnu presnosť. Táto presnosť je definovaná smerodajnou odchýlkou vypočítanou z dvoch, alebo viacerých nezávislých meraní toho istého bodu (alebo viacerých bodov) konvergenčného profilu, zameraného v krátkom časovom rozpätí (z dôvodu vylúčenia prípadného pohybu bodu), pri aposteriorom rozbere presnosti merania s použitím všeobecne platných vzorcov pre výpočet smerodajných odchýliek.

V posledných rokoch je viditeľná snaha o absolutizáciu tejto presnosti tzv. supervíziou geotechnického monitoringu, ktorého súčasťou sú merania 3D posunov v tuneli. Ide vlastne o neustále spresňovanie merania s použitím podstatne náročnejších metód (polygónové meranie, sieťové meranie s veľkým počtom nadbytočných meraní), z dôvodu čo najväčšieho priblíženia sa skutočnej 3D polohe meraného bodu. Dôvodom tejto snahy je využívanie bodov konvergenčných profilov na usmerňovanie razenia aj v neskorších fázach výstavby tunela ako bodov podrobnej vytyčovacej siete (PVS) tunela. Body PVS tunela sú spravidla zameriavané z bodov základnej vytyčovacej siete (ZVS) tunela na povrchu a v tuneli. Pri výpočtoch čo najpresnejšej polohy bodov ZVS a PVS sú využívané špeciálne programy na vyhodnotenie sieťových meraní (PLS, Groma, Leica Geo Office – LGO).

V ďalších fázach výstavby tunela sú tieto body brané ako podklad pre nové body PVS tunela umiestnené v sekundárnom ostení tunela. Tieto nové body PVS sú potom využívané až do ukončenia všetkých geodetických prác v tuneli, prípadne je ešte časť z nich využitá na meranie konvergenencie sekundárneho ostenia tunela.

Denné merania 3D posunov primárneho ostenia tunela sú spracované v príslušných softvéroch a expedované denne vybraným účastníkom stavby buď v papierovej forme vo forme grafov, alebo najnovšie publikované vo forme grafov a tabuliek na webových stránkach na to zriadených. Merania 3D posunov bývajú spravidla zapracované ako súčasť geotechnického monitoringu (GTM) tunela a v súčinnosti s ostatnými meraniami GTM tvoria dôležitú súčasť NRTM. Grafické vyhodnotenie meraní je na obr. 6 a 7.

V posledných rokoch sme vykonávali konvergenčné merania na tuneloch Bôrik (SR) a Tuneloch Tábor, Barnica a Markovec v Slovinsku, kde boli tieto merania spracovávané v softvéri ARCTECH od firmy Angermeier. V súčasnosti vykonávajú naši geodeti merania 3D posunov na stavbe železničného tunela Turecký vrch. Namerané údaje sú vyhodnocované v programe BARAB od firmy ARCADIS – Geotechnika, a. s., a publikované na web stránkach firmy ARCADIS, ktorej dcérska spoločnosť Geofos, s. r. o., je aj dodávateľom celého geotechnického monitoringu na stavbe tunela Turecký vrch. Na obr. 8 je geodet pri kontrole presnosti prerážky ľavej tunelovej rúry Tunela Barnica v Slovinsku.

Geodetické práce pri reprofiliácii tunela razeného NRTM

Na meranie pri reprofiliácii tunela sa používajú prístroje Leica s možnosťou bezodrazového merania dĺžok (TCRM 1201) a softvér TMS ProScan plus. Opis merania už bol spomenutý v predchádzajúcich kapitolách. V tejto fáze meraní sa využíva už

the surface and in the tunnel. Special programs for assessing the network survey (PLS, Groma, Leica Geo Office – LGO) are used in calculations of the as accurate position of BSN and DSN points as possible.

In the subsequent tunnel construction phases these points are used as grounds for new DSN points installed in the secondary tunnel lining. These new DSN points are subsequently used till the conclusion of all surveying in the tunnel or a part of the points remain to be used for convergence measurements on the secondary tunnel lining.

Daily 3D measurements of the primary lining displacements are processed in respective software and sent every day to selected parties to the construction either in the form of hard copies or as graphs or, in the newest way, they are published in the form of charts and tables on web pages created for this purpose. 3D measurements of displacements are usually processed as a part of geotechnical monitoring (GTM) of the tunnel; together with other GTM measurements they form a significant part of the NATM. Graphical evaluation of measurements is presented in Figures 6 and 7.

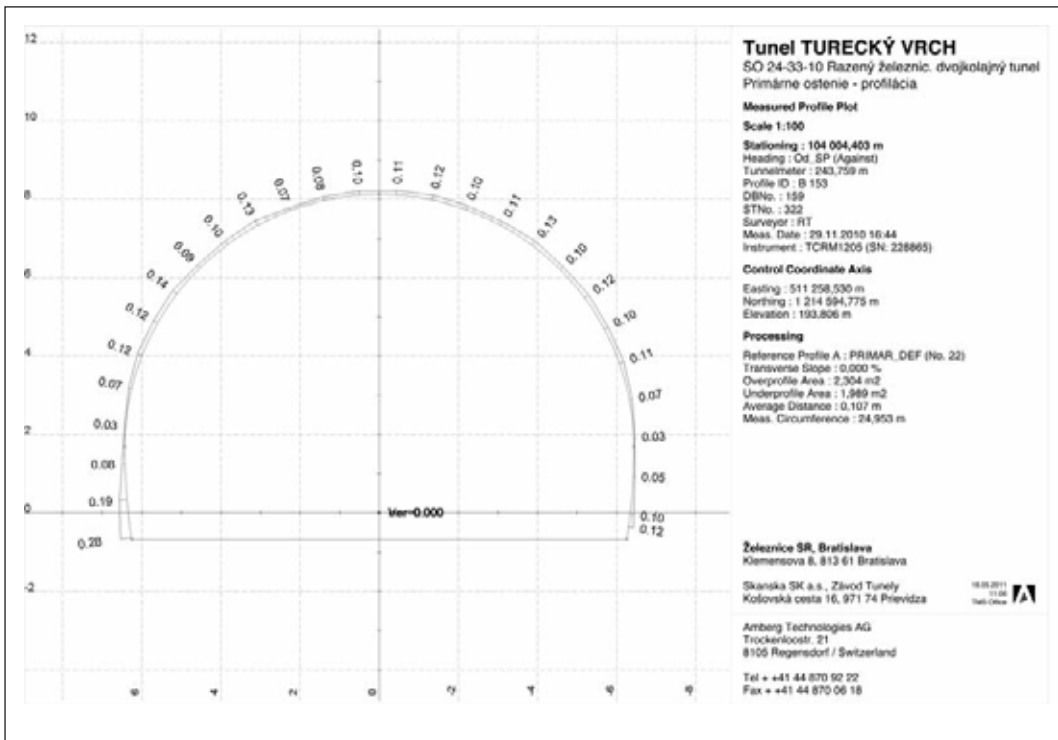
During recent years we have carried out convergence measurements on the Bôrik tunnel (the SR) and the Tábor, Barnica and Markovec tunnels in Slovenia, where these measurements were processed using Angermeier's software ARCTECH. Today our surveyors are carrying out 3D measurements of displacements on the Turecký Vrch railway tunnel construction. The measured data is evaluated using the BARAB program developed by ARCADIS, a branch of which, Geofos s.r.o., is, in addition, a contractor for geotechnical monitoring services on the Turecký Vrch tunnel construction. Figure 8 shows a surveyor checking on the accuracy of the left tunnel tube of the Barnica tunnel breakthrough, Slovenia.

Surveying for re-profiling of a tunnel driven by the NATM

Surveying during the work on re-profiling a tunnel is performed using Leica instruments with the facility for reflectionless distance measurement (TCRM 1201) and TMS ProScan plus software. The measurement was described in previous chapters. In this measurement phase only automatic measurement of parallel vertical profiles is carried out; the grid selected for measuring points on the primary tunnel lining is substantially denser (usually 1x1 m). The measurements are usually performed twice. For the first time it is before the repair and application of the final layer of shotcrete, while the second measurement is carried out after the completion of the primary lining treatment, before installing the intermediate waterproofing system.

The outputs have a graphical-numerical form (cross-sections), demonstrating deviations of the actual tunnel cross-section from the design profile. These outputs are handed over in hard copies to the project owner and become part of the as-built design documents for the primary tunnel lining. The format for the assessment is similar to the format for daily checks on the excavation (see Fig. 5).

The use of laser scanners is another very efficient and modern alternative for these measurements. There are several manufacturers today offering comprehensive hardware – software solutions (Leica+AMBERG, RIEGEL+ Geodata). These are very efficient solutions, allowing the measurements to be carried out along about 50 m of a tunnel during approximately half an hour, to an accuracy of up to one centimetre, providing great numbers of measured points making the development of a faithful 3D model of the tunnel tube possible. On the other hand, this solution is quite expensive, with the purchase costs of EUR 80 – 150 thousand. It is therefore applicable exclusively to a certain part of measurements in a tunnel. In any case, this is a trend which has been becoming a standard virtually on all tunnel construction sites abroad. As far as surveying of a secondary lining is



Obr. 5 Vyhodnotenie kontrolného zamerania priečného profilu v programe TMS Office. Autor – Ferančík

Fig. 5 Assessment of a check survey of a cross-section in TMS Office software. Author – Ferančík

len výsledok automatického merania paralelných vertikálnych profilov, pričom je zvolený podstatne hustejší raster zameraných bodov na primárnom ostení tunela (zvyčajne 1x1m). Merania sa vykonávajú spravidla 2 krát. Prvýkrát pred samotnou opravou a nástrekom finálnej vrstvy striekaného betónu a druhýkrát až po finalizácii úpravy primárneho ostenia, pred pokladaním medziľahlej hydroizolácie.

Z merania sú vyhotovené graficko-číselné výstupy (priečne profily) so znázornením odchýlok skutočného priečného profilu tunela od projektovaného profilu. Tieto sú expedované v papierovej forme investorovi a tvoria súčasť dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby (DSVS) primárneho ostenia tunela. Vzor vyhodnotenia je obdobný ako pri dennej kontrole razenia (obr. 5).

Veľmi výkonnou a modernou alternatívou na tieto merania je aj využitie laserových skenerov. V súčasnosti ponúka viacero výrobcov ucelené hardvérovo-softvérové riešenia (Leica+AMBERG, RIEGEL+ Geodata). Ide o veľmi výkonné riešenia, ktoré umožňujú v priebehu cca 0,5 hodiny zmerať cca 50 m tunela s presnosťou do jedného centimetra a veľkým počtom nameraných bodov, z ktorých je možno vytvoriť verný 3D model tunelovej rúry. Toto riešenie je však dosť drahé, nadobúdacie náklady 80–150 tisíc eur a je úzko využiteľné len na určitú časť meraní v tuneli. V každom prípade je to však trend, ktorý sa pomaly stáva štandardom prakticky na všetkých stavbách tunelov v zahraničí. Pri zameriavaní sekundárneho ostenia dokonca už aj v tuneloch v ČR a SR.

Geodetické práce pri zhotovovaní sekundárneho ostenia tunela razeného NRTM

Geodetické (meračské) práce sa vykonávajú s použitím rovnakého prístrojového a softvérového vybavenia ako pri predchádzajúcich fázach tunela. V tejto fáze, keď je v tuneli budované veľké množstvo súvisiacich objektov (drenážne potrubie, základové pásy, výklenky, káblkové kolektory), je veľmi výhodné použitie aplikačného programu TMS ProScan plus v geodetickom

concerned, it is so even on tunnels in the CR and SR.

Surveying during the construction of the secondary lining of the NATM driven tunnel

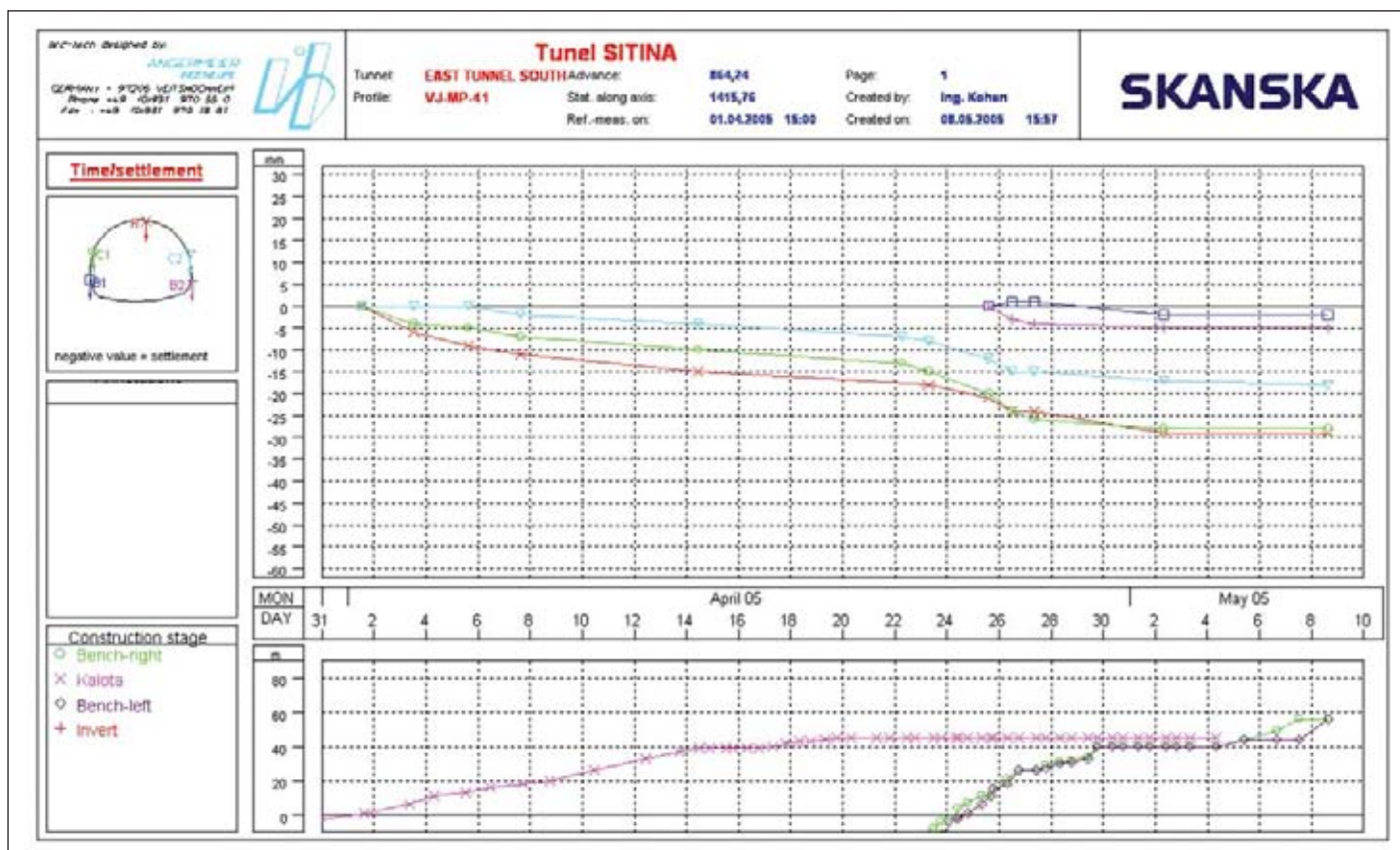
Survey operations are carried out using the same instruments and software as those used during the preceding tunnelling phases. In this phase, during which many associated structures are constructed inside the tunnel (drainage lines, strip foundations, recesses, cable ducts) it is very beneficial if the TMS ProScan plus software is installed in the survey instrument. The location and shape of the majority of structures, because a tunnel is a linear structure, are very simply defined in the design

by means of the tunnel chainage and usually identical profile coordinates within a tunnel cross-section. This property is used in creating setting out protocols, where surveyors consecutively, throughout the tunnel length, set out identical profile coordinates, which are shown on the display of the instrument and are continually checked by the surveyor during the survey in the tunnel itself – of course for the respective structure. An identical procedure is applied to setting out characteristic points of the cross-section of the secondary tunnel lining. They are calculated from the design, then a traveller form for casting of the tunnel upper vault is calibrated according to them and then setting in the required (design) position and tunnel chainage by the surveyor only remains to be done. On the Turecký Vrch tunnel construction, where surveying is being carried out by our surveyors, the upper vault is built from reinforced concrete throughout the tunnel length; this puts increased requirements even on surveying. Steel reinforcement of concrete, which is installed in the first phase, before the traveller form is moved in, has to be set in an accurate position. For that reason even a certain part of the reinforcement (the ARCUS lattice girder) is set out and checked by surveyors. In addition, the exact border between casting blocks is set out by surveyors because of the increase in the thickness of the intermediate waterproofing system and the installation of a rubber waterstop (from the geometrical point of view this is a junction between a plane led through the front end of the block of the secondary and primary linings) – the term of “fugenband”, which was borrowed from German, is often used in practice.

The same procedure is applied even when the roadway and walkway structures are being constructed. The only exception is the possibility to use an application program developed for roads, the Road Line in Leica total stations (named Road Runner in newer instruments).

SURVEYING FOR TUNNELS DRIVEN BY THE NTM

In Scandinavian countries, as opposed to other countries in Europe, tunnels are driven virtually only through hard compact rock mass, nearly exclusively comprising hard granites and granitic gneiss. In such good geological conditions the necessity of primary lining in the form we know from the NATM is virtually excluded. The tunnel support usually consists only of a thin layer



Obr. 6 Grafické vyhodnotenie merania 3D posunov (vertikálna zložka – sadanie) v programe ARCTech – Angermeier. Autor – Ferančík
 Fig. 6 Graphical evaluation of 3D displacements (vertical component – subsidence) in ARCTech – Angermeier program. Author – Ferančík

prístroji. Umiestnenie a tvar väčšiny objektov, keďže tunel je líniová stavba, sú veľmi jednoducho definované v projekte a to staničením v tuneli a spravidla rovnakými profilovými súradnicami v priečnom profile tunela. Táto vlastnosť sa využíva pri vytvorení vytyčovacích protokolov, pričom geodeti následne vytyčujú počas celej dĺžky trasy tunela rovnaké profilové súradnice, ktoré sú zobrazované na displeji prístroja a priebežne kontrolované geodetom pri samotnom meraní v tuneli – samozrejme pre príslušný objekt. Úplne rovnako sú vytyčované aj charakteristické body priečného profilu sekundárneho ostenia tunela. Tieto sú vypočítané z projektu, následne je podľa nich skalibrovaný debniaci voz na betonáž hornej klenby tunela a potom je tento už len geodetom ustavený do požadovanej (projektovanej) polohy a staničenia tunela. Na tuneli Turecký vrch, kde vykonávajú meračské práce naši geodeti, je horná klenba sekundárneho ostenia v celej dĺžke tunela budovaná zo železobetónu, čo kladie zvýšené nároky aj na geodetické práce. Oceľová výstuž betónu, ktorá je budovaná v prvom slede ešte pred presunom debniaceho voza, musí byť osadená do presnej pozície. Z tohto dôvodu je aj určitá časť výstuže (priehradový nosník ARCUS) vytyčovaná a kontrolovaná geodetmi. Rovnako je geodetmi vytyčovaná aj presná hranica medzi blokmi, z dôvodu zosilnenia medziľahlej hydroizolácie a montáže gumového hydroizolačného pásu (geometricky ide o prienik roviny preloženej čelom bloku sekundárneho ostenia a primárneho ostenia) – v praxi je často používaný termín prevzatý z nemčiny – tzv. „fugenband“.

Rovnako sa postupuje aj pri zhotovovaní konštrukcie vozovky a chodníkov. Výnimkou je len možnosť použitia aplikačného programu určeného pre cesty Road Line (Road Runner pri novších prístrojoch) totálnej stanice Leica.

GEODETICKÉ PRÁCE PRI TUNELOCH BUDOVANÝCH NTM

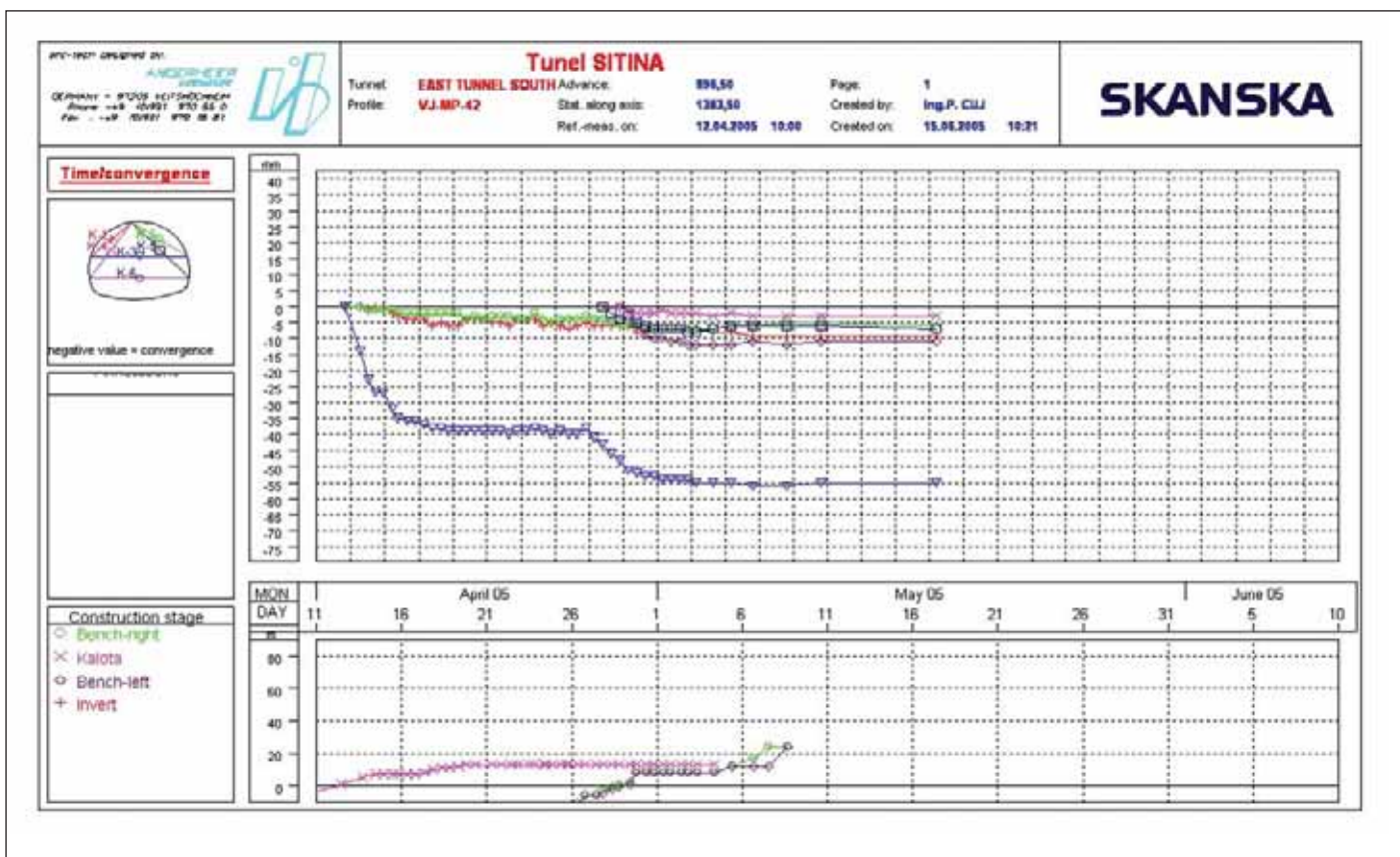
V škandinávskych krajinách sú na rozdiel od ostatných krajín Európy tunely budované prakticky len v tvrdých kompaktných horninách, skoro výhradne tvorených veľmi tvrdými granitmi

of micro-fibre reinforced shotcrete. Tunnels are driven full-face, using the drill and blast technique.

With respect to the absence of the primary lining, great stress is placed on as accurate drilling in the excavation face as possible and on the so-called “smooth blasting” (as accurate as possible and least undulated contour of the tunnel tube after blasting and scaling of the face). Drilling is carried out by ATLAS COPCO or TAMROCK drill rigs. A great stress is placed on as high degree of automation and accuracy of drilling operations as possible as early as the phase of the drilling rigs development. For that reason drilling rigs are equipped with well refined software, first of all the BEVER CONTROL system developed by BEVER CONTROL AS (Norway), which is designed for ATLAS COPCO drill rigs. This is a comprehensive software package for fully automated drilling in the excavation face. The office part of the software package - Tunnel Manager Lite (TML), which is used for the input of design geometrical parameters, is similar to the above-mentioned AMBERG’s TMS Office software. All design geometrical data is subsequently exported and loaded through the PCMCIA card to the above-mentioned BEVER CONTROL program installed on the drilling rig. The last step before starting the drilling operation itself is only the so-called navigation of the drill rig, which is implemented in two steps. First the Laser Measurement Group (a reference laser line realised by a beam of the linear laser) is put in the program using two points (specifying coordinates X, Y, Z). Subsequently one of the drill rig feeds is set on this straight line by means of two special targets and the actual chainage of the face is put in the program. After the position of the feed being navigated is initiated and recorded, the drill rig is capable of automatic independent drilling, maintaining very high accuracy of the tunnel contour.

The task of a surveyor in the case of the NTM tunnel construction method is defined by the following activities:

- preparing a design for the drill rig and the BEVER CONTROL system,



Obr. 7 Grafické vyhodnotenie merania 3D posunov (zložka–konvergencia) v programe ARCTech – Angermeier. Autor – Ferančík
 Fig. 7 Graphical evaluation of 3D displacements (component: convergence) in ARCTech – Angermeier program. Author – Ferančík

a granitickými rulami. Pri takýchto veľmi dobrých geologických podmienkach prakticky odpadá primárne vystrojenie tunela v tej podobe, ako ho poznáme pri NRTM. Vystrojenie tunela pozostáva spravidla len z nástreku tenkej vrstvy (mikroarmovaného) striekaného betónu s rozptýlenou výstužou. Razí sa v plnom profile tunela s nedelenou čelbou a s použitím vrtno-trhacích prác.

Z dôvodu absencie primárneho ostenia je kladený veľký dôraz na čo najpresnejšie navrtanie čelby a tzv. „hladký vylom“ (čo najpresnejší a najmenej členitý obrys tunelovej rúry po odstrele a začistení čelby). Na vrtanie sa využívajú vrtné vozy firiem ATLAS COPCO, alebo TAMROCK. Už pri vývoji vrtacích vozov je kladený veľký dôraz na čo najväčšiu automatizáciu a presnosť vrtacích prác. Z tohto dôvodu sú vrtné vozy vybavené veľmi prepracovaným softvérom, predovšetkým je to softvér BEVER CONTROL od firmy BEVER CONTROL AS (Nórsko) určený pre vrtné vozy firmy ATLAS COPCO. Ide o ucelený softvér na plne automatické vrtanie čelby. Kancelárska časť softvérového balíka – Tunel Manager Lite (TML), ktorá slúži na zadanie geometrických parametrov projektu, je podobná už spomenutému softvéru TMS Office od firmy AMBERG. Všetky geometrické údaje projektu sú následne exportované a nahrané cez PCMCIA kartu do už spomenutého ovládacieho programu BEVER CONTRTOL vrtacieho voza. Posledným krokom na spustenie samotného vrtania je už len tzv. navigácia vrtného voza, realizovaná v dvoch krokoch. Najskôr je do programu zadaná tzv. laserová skupina – referenčná laserová priamka realizovaná lúčom líniového lasera – dvoma bodmi (súradnicami X, Y, Z). Následne je za pomoci dvoch špeciálnych terčov nastavená do tejto priamky jedna z lafiet vrtného voza a je zadané aktuálne staničenie čelby. Po inicializácii a zapísaní polohy navigovanej lafety je vrtací voz schopný samostatne automaticky vrtáť, pri zachovaní veľmi dobrej presnosti obrysu tunela.

Úloha geodeta pri NTM metóde výstavby tunela je vlastne definovaná týmito činnosťami:

- updating drill patterns proposed,
- installing, taking the bearings and setting of the linear laser in the tunnel and updating it within the BEVER CONTROL system on the drilling rig,
- surveying the day advance of the excavation – usually only the excavation after trimming,
- installing and continual checking on the BSN and DSN in the tunnel,
- surveying the structure after the completion and preparing as-built design documents.

The newest models of ATLAS COPCO drill rigs are already equipped with a 3D profiler, checking the day's excavation



Obr. 8 Kontrola presnosti prerážky ľavej tunelovej rúry na Tuneli Barnica v Slovinsku. Autor – Ferančík
 Fig. 8 Checking on accuracy of the breakthrough of the left tunnel tube of the Barnica tunnel, Slovenia. Author – Ferančík



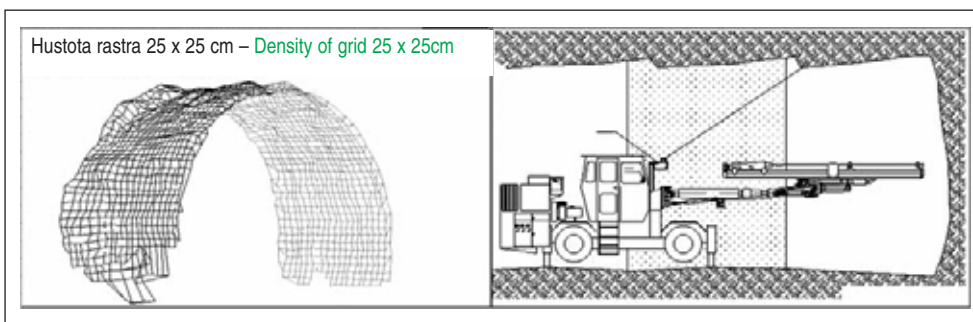
Obr. 9 Ukážka umiestnenia 3D profilera a navigácia vrtného voza líniovým laserom – systém Bever Control – Atlas Copco. Autor – Manuál k programu Bever Control

Fig. 9 Presentation of the location of a 3D profiler and navigation of a drill rig by means of a linear laser – the Atlas Copco Bever Control system. Author – Manual for the Bever Control program

- príprava projektu pre víťací voz a systém BEVER CONTROL,
- aktualizácia navrhnutých vrtných schém,
- osadenie, zameranie a nastavenie líniového lasera v tuneli a jeho aktualizácia v obslužnom softvéri BEVER CONTROL vrtného voza,
- zameranie denného postupu razenia – spravidla len začiatkový výlom,
- budovanie a priebežná kontrola ZVS a PVS tunela,
- zameranie stavby po ukončení a vypracovanie DSVS.

V najnovších modeloch sú už vrtné vozy firmy ATLAS COPCO vybavené 3D profilerom na kontrolu denného postupu razenia (obr. 9). Spôsob merania a vyhodnotenie je zrejmé z obr. 10.

Pozornosť je tiež venovaná dosiahnutiu čo najrýchlejšej a najpresnejšej navigácie vrtného voza. Najnovšie modely už používajú navigáciu pomocou profilera a dvoch až troch pevných bodov umiestnených na ostení tunela, alebo pomocou geodetickej totálnej stanice a dvoch bodov umiestnených priamo na vrtnom voze (obr. 11). Pri razení tunelov NTM je viditeľná snaha o čo najväčšiu automatizáciu celého procesu vrtania priamo vrtnou technikou. Ide vlastne o spôsob, ktorý je náhradou usmerňovania razenia geodetmi pomocou lasera a totálnych staníc pri tuneloch budovaných NRTM. Tunely budované NTM spravidla nemajú primárne ostenie tak ako to poznáme pri NRTM. Výlom je spevnený len vrstvou striekaného betónu



Obr. 10 Schéma zamerania výlomu a vyhodnotenia Bever profilerom – Atlas Copco. Autor – Manuál k programu Bever Control

Fig. 10 A chart of the survey of the excavation and its assessment using the Atlas Copco Bever profiler. Author – Manual for the Bever Control program

advance (see Fig. 9). The measurement method and assessment are obvious from Fig. 10.

Attention is also paid to achieving as fast and accurate possible navigation of the drill rig as possible. The newest models already use navigation by means of a profiler and two to three fix points located on the tunnel lining or by means of a survey total station and two points installed directly on the drill rig (see Fig. 11). The effort is obvious during the NTM tunnel excavation to achieve as high degree of automation as possible within the entire process of guiding the drilling directly by the drilling equipment. This is in substance a method which is the replacement of the guidance of excavation by surveyors and total stations in tunnels constructed by the NATM. Tunnels constructed by the NTM usually have no primary lining as we know it at the NATM. The excavation is supported only by a layer of fibre reinforced shotcrete in locations where the geology is slightly disturbed. Subsequently a final layer mostly 8 to 10 cm thick, substituting the secondary lining, is applied.

Surveying of a day's excavation advance or the final surveying of the tunnel lining at the NTM is often carried out using Laser scanners manufactured either by Leica or other companies.

This method was applied to the construction of the lining in the Porvarinlahti and Labbacka tunnels, parts of the VUOLI project at the eastern edge of Helsinki and the Orosmaki and Karnainen tunnels on the E 18 motorway between Helsinki and Turku.

The work of a surveyor during the construction of a secondary tunnel lining lies in surveying final tunnel cross-sections (the equivalent of re-profiling at the NATM) and incorporating them into the as-built design documents, which had the form of a 3D tunnel model in the case of the above-mentioned tunnels.

The last phase of the work in tunnels driven by the NTM is the construction of technical service structures (tunnel drainage, cable tunnels etc.) and the roadway. These items of work virtually do not differ from the work on tunnels built by the NATM. The same applies to surveying, where identical procedures, software and instruments are used.

CONCLUSION

Tunnel engineering has been experiencing great boom in the recent years, first of all because of the continual improvement of traffic infrastructure of European countries, but also because of environmental protection efforts to transfer the ever denser traffic from surface roads underground. An inseparable and very important part of the construction works is performed by surveyors. They significantly contribute to

the success of tunnel construction projects. The introduction and selection of a suitable system of survey measurements into the general construction system is a contribution significant for both the acceleration of construction processes and the adherence to geometrical parameters of the structures, which is placed great importance on. Adhering to the final, usually very high, accuracy of these structures is first of all influenced by surveyors, not only during the course of the construction but also after its completion, by periodical checking on geometrical

s rozptýlenou výstužou v miestach s mierne porušenou geológiou. Následne je nanášaná ešte finálna vrstva, zväčša hrúbky 8 až 10 cm, nahrádzajúca sekundárne ostenie.

Na zameranie, či už denného postupu razenia, alebo aj finálneho zamerania ostenia tunela, sa pri NTM hojne využívajú laserové skenery, či už od firmy Leica, alebo aj od iných firiem.

Takýmto spôsobom bolo realizované ostenie na tuneloch Porvarinlahti a Labbacka projektu VUOLI na východnom okraji Helsínk, ako aj na tuneloch Orosmaki a Karnainen na diaľnici E 18 Helsínki – Turku vo Fínsku.

Práca geodeta pri realizácii sekundárneho ostenia tunela spočíva v zameraní finálnych priečnych profilov tunela (ekvivalent reprofiliácie v NRTM) a ich spracovaní do finálnej dokumentácie skutočného vyhotovenia tunela, ktorá bola v prípade spomenutých tunelov vo forme 3D modelu tunela.

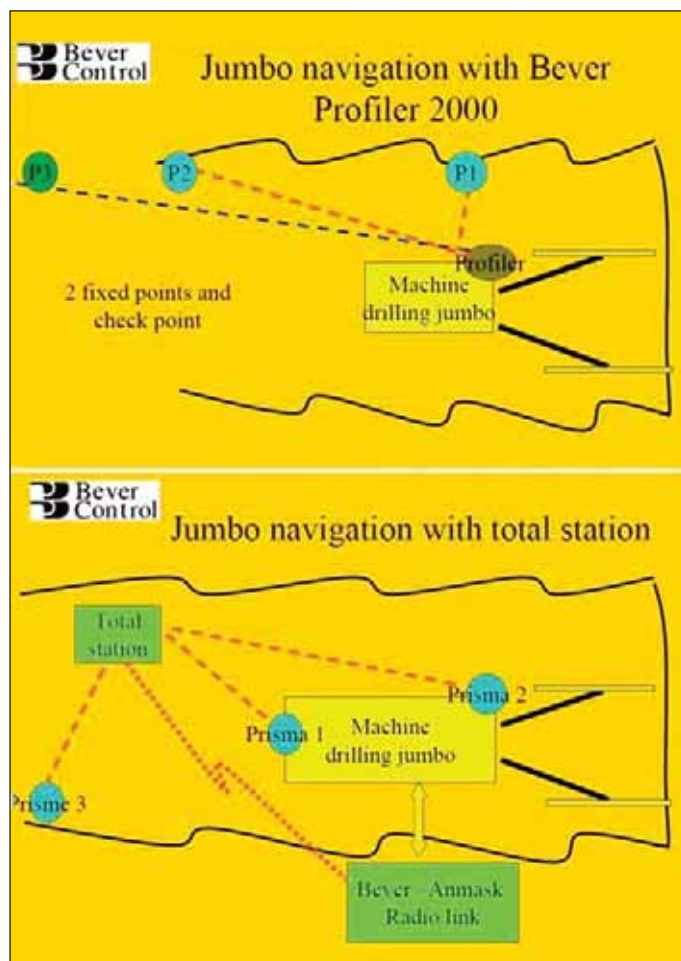
Poslednou fázou prác v tuneloch budovaných NTM je realizácia technologických objektov (drenáž tunela, káblové kolektory, ...) a vozovky. Tu sa práce prakticky nelíšia od prác pri tuneloch budovaných NRTM. Tak isto aj pre geodetické práce sú využívané rovnaké postupy, softvér i prístrojové vybavenie.

ZÁVER

Tunelové staveľstvo zaznamenáva v poslednom období veľký rozmach predovšetkým z dôvodov neustáleho zlepšovania dopravnej infraštruktúry štátov Európy, ale aj z dôvodu ochrany životného prostredia, keď je snaha dostať čoraz hustejšiu prevádzku z ciest do podzemia. Neoddeliteľnou a veľmi dôležitou súčasťou týchto prác sú geodeti podieľajúci sa významnou mierou na úspešnej realizácii tunelových stavieb. Zavedením a voľbou vhodného systému geodetických meraní do celkového systému realizácie stavby je výrazným prínosom tak pre urýchlenie stavebných prác, ako aj pre dodržanie geometrických parametrov týchto stavieb, na čo je kladený vysoký dôraz. Na dodržanie konečnej, zvyčajne veľmi vysokej presnosti týchto stavieb, majú geodeti rozhodujúci vplyv nielen počas celej výstavby, ale aj po jej ukončení pri periodickej kontrole geometrických parametrov (3D posuny sekundárneho ostenia, kontrola koľají koľajového zvršku). Významnú úlohu zohrávajú aj výrobcovia meračskej a vrtnej techniky vrátane príslušného softvéru, ktorí sa usilujú o čo najväčšiu automatizáciu svojich produktov. V neposlednom rade ide aj o dosahovanie vysokej produktivity a presnosti meraní a, samozrejme, aj o uľahčenie a zjednodušenie práce geodetov. Je potrebné si uvedomiť, že geodeti pri meraniach v tuneloch sú prakticky neustále vystavení extrémnym podmienkam (zlá viditeľnosť, vysoká prašnosť, stiesnené priestorové pomery), a aj napriek použitiu sofistikovaných hardvérovo-softvérových riešení, zohráva ľudský faktor stále rozhodujúcu úlohu pri konečnom výsledku ich práce. Aj z tohto dôvodu si vyžaduje výkon geodeta, neustále pracujúceho s milimetrami, v týchto náročných podmienkach nasadenie odborne fundovaných a odolných ľudí zasluhujúcich obdiv a uznanie.

**ING. PETER FERANČÍK, peter.ferancik@skanska.sk,
Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK**

Recenzoval: Ing. Karel Křemen



Obr. 11 Spôsob navigácie vrtného voza s použitím Bever profilera a geodetickej totálnej stanice – Atlas Copco. Autor – Manuál k programu Bever Control
Fig. 11 The method of navigating a drilling rig using the Atlas Copco Bever profiler and a survey total station. Author – Manual for the Bever Control program

parameters (3D displacements of the secondary lining, checking on rail track, ...). In addition, an important role is played by manufacturers of survey and drilling equipment inclusive of respective software, striving for as high degree of automation of their products as possible. At last but not least, their role is in achieving of high productivity and accuracy of measurements and, of course, making the work of surveyors easier and simpler. It is necessary to realise that surveyors performing measurements inside a tunnel are virtually continuously exposed to extreme conditions (poor visibility, high rate of airborne dust in the tunnel, constrained space conditions) and, despite using sophisticated hardware and software solutions, the human factor remains to play the deciding role in the final result of their work. This is also one of the reasons why the work of a surveyor, operating always with millimetres, requires in these demanding conditions technically sound and resistant persons, deserving admiration and appreciation.

**ING. PETER FERANČÍK, peter.ferancik@skanska.sk,
Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK**

LITERATURA / REFERENCES

1. Manuál k programu TMS – Tunnel Measurement System (Amberg, Leica, Švajčiarsko)
2. Manuál k programu BEVER CONTROL (Bever Control AS, Nórsko)

TURECKÝ VRCH, ŽELEZNIČNÝ TUNEL BUDOVANÝ NA SLOVENSKU PO POLSTOROČÍ

TURECKÝ VRCH, A RAIL TUNNEL BEING BUILT IN SLOVAKIA AFTER HALF A CENTURY

MARIÁN ORAVEC, DANIEL TISAJ

ÚVOD

Od sprevádzkovania Ružbašského tunela v roku 1966 je tunel cez Turecký vrch prvou živou stavbou železničného tunela na Slovensku. Je najvýraznejším prvkom stavby Modernizácia železničnej trate Nové Mesto nad Váhom – Púchov, žkm 100,500–159,100 pre traťovú rýchlosť do 160 km/h – I. etapa a II. etapa (úsek Nové Mesto nad Váhom – Zlatovce).

Tento úsek je súčasťou Transeurópskeho dopravného koridoru č. V, ktorý spája Bratislavu, Žilinu cez Košice s Ukrajinou. Na tento koridor sa v Žiline pripája medzinárodný železničný koridor č. VI zo Žiliny do Varšavy smerom k Baltickému moru.

STAVBA V CHRÁNENEJ KRAJINNEJ OBLASTI

Umiestnenie tunela spolu s konštrukciou portálov a zárubňami stenami rieši otázku nevyhnutného stretu priestorových záujmov medzi modernizáciou železničnej trate a chránenou krajinou okolo Tureckého vrchu. Po analýzach alternatívnych riešení vedenia trasy okolo Tureckého vrchu v súčasnej stopke železničnej trate alebo novou trasou tunelovým variantom, sa investor rozhodol pre tunelový variant. Zmena vedenia trasy cez tunel zabezpečí zvýšenie terajšej traťovej rýchlosti z 80 km/h o 100 % na 160 km/h, výhľadovo na 200 km/h a minimalizuje negatívne vplyvy na chránenú krajinu okolo. Ďalšou výhodou tunelového variantu je fakt, že výstavba tunela neobmedzuje dopravu, pretože sa tunel rázi mimo pôvodnú trať.

Technické riešenie rešpektuje doterajší charakter prostredia a upravuje zárezy portálov tunela pomocou zárubňových stien tak, aby sa čo najviac zachoval charakter prírodného prostredia lesostepi (na južnej strane) a mohol ju čo najviac priblížiť k železničnej trati.

ZÁKLADNÉ ÚDAJE O STAVBE

Názov diela:	Modernizácia železničnej trate Nové Mesto nad Váhom – Púchov, žkm 100,500 – 159,100 pre traťovú rýchlosť do 160 km/h - I. etapa a II. etapa (úsek Nové Mesto nad Váhom – Zlatovce)
Investor:	Železnice Slovenskej republiky, Bratislava
Zhotoviteľ:	Združenie Nové Mesto – Zlatovce 2009
Vedúci člen združenia:	OHL ŽS, a. s., Brno
Členovia združenia:	Skanska SK a. s., Váhostav – SK, a. s., Žilina, Doprastav, a. s., Bratislava, Eltra, s. r. o., Košice
Začiatok výstavby:	09/2009
Ukončenie výstavby:	04/2013

Výstavbu I. etapy zabezpečuje Združenie Nové Mesto – Zlatovce 2009. Podiel prác Skanska SK z celkového objemu stavby predstavuje 19,33 % a tvorí ho hlavne výstavba tunela.

Okrem tunela budú na 17,7 km dvojkolajnej železničnej trati vybudované dva nové železničné a šesť cestných mostov.

INTRODUCTION

The Turecký Vrch tunnel is the first living construction of a rail tunnel in Slovakia since the commissioning of the Ružbachy tunnel in 1966. It is the most distinct element of the project “Upgrading of the Nové Mesto nad Váhom – Púchov rail line, chainage km 100.500–159.100, for the speed up to 160 km/h – stage I and stage II (Nové Mesto – Zlatovce section)”.

This section is part of the trans-European transport corridor No. V, which connects Bratislava and Žilina with Ukraine via Košice. The international corridor No. VI from Žilina to Warsaw, heading toward the Baltic Sea, links this corridor in Žilina.

CONSTRUCTION IN A NATURE RESERVE

The design of the location of the tunnel, tunnel portals and revetment walls solves the issue of an unavoidable collision of spatial interests between upgrading of the rail line and the natural reserve Turecký Vrch. After analyses of alternative solutions for the alignment around Turecký Vrch hill following the current rail line route or a new route containing a tunnel, the client decided to adopt the latter variant. The change in the alignment, running through the tunnel, will ensure increasing of the speed over the track by 100 %, from 80 km/h to 160 km/h, and to 200 km/h in the long term, thus minimising the negative effects on the natural reserve. Another advantage of the variant containing the tunnel is the fact that the tunnel construction does not disturb the traffic because the tunnel is being driven outside the original route.

The technical solution takes into account the existing character of the area and provides cuttings for tunnel portals with revetment walls so that the forest-steppe character of the natural environment (on the southern side) is maintained as much as possible and nature can get as close to the rail track as possible.

BASIC PROJECT DATA

Project name:	Upgrading of the Nové Mesto nad Váhom – Púchov rail line, chainage km 100.500–159.100, for the speed up to 160 km/h – stage I and stage II (Nové Mesto – Zlatovce section)
Project owner:	Železnice Slovenskej republiky (Slovak Railways), Bratislava
Contractor:	Združenie Nové Mesto – Zlatovce 2009 consortium
Consortium leading member:	OHL ŽS, a. s., Brno
Consortium members:	Skanska SK a. s., Váhostav – SK, a. s., Žilina, Doprastav, a. s., Bratislava, Eltra, s. r. o., Košice.
Works commencement:	09/2009
Works completion:	04/2013

The contractor for stage I of the construction is Združenie Nové Mesto – Zlatovce 2009 consortium. The proportion of Skanska SK work is 19.33 % of the whole construction volume; the main part is the construction of the tunnel.

Rekonštrukcia čaká i desať existujúcich železničných mostov, tri podchody pre cestujúcich v železničných staniách, priepusty a podchody pre verejnosť.

ZÁKLADNÉ ÚDAJE TUNELA

Celková dĺžka tunelovej rúry je 1775 m, z toho razená časť má dĺžku 1740 m (nový železničný kilometer nžkm 102,510 00–104,250 00). Hĺbený úsek má spolu 35 m – 25 m na južnom a 10 m na severnom portáli. V celej dĺžke je jednotný prierez dvojkoľajného tunela 80,75 m², len uprostred sú dve „napínacie komory“ pre trolejové vedenie s rozšíreným prierezom 126,65 m², dlhé po 10 m.

Konštrukcia ostenia dvojkoľajného tunela je dvojplášťová s medzilahlou fóliovou izoláciou. Dno nie je izolované. Primárne ostenie zo striekaného betónu vystuženého oceľovou sieťovinou má premenlivú hrúbku od 150 mm do 400 mm (pevnostnej triedy C 16/20) a dočasne zaisťuje výrub. Na primárne ostenie sa s určitým časovým odstupom pripieňuje izolačné súvrstvie. Toto súvrstvie sa následne prekryje sekundárnym ostením z monolitického vystuženého alebo prostého betónu C 25/30, ktoré tvorí konečnú konštrukciu ostenia tunela.

Nadložie v osi tunela dosahuje minimálnu hodnotu cca 3 m v mieste južného razeného portálu, najvyššie je v nžkm 103,500 a dosahuje približne 100 m.

Uprostred tunela v km 103,483.00 je napojená 244,7 m dlhá úniková chodba, ústiaca v priestore pôvodného nadjazdu železničnej trate.

POSTUP VÝSTAVBY – ZAISTENIE PORTÁLU A RAZENIE

Technológia razenia železničného tunela je úzko spojená s historickým vývojom tunelárstva v našej krajine. V našich zemepisných šírkach sa využívala od II. polovice 19. storočia Rakúska tunelová metóda pri výstavbe prvých železničných tunelov. Charakteristickým znakom tejto metódy je prvotné vyrazenie smerovej štôlne v spodnej časti tunela (slúži na overenie geologických pomerov). Šikmým zálomom sa prešlo do hornej štôlne – budúci strop tunela a odtiaľ sa robil výlom do oboch strán celej klenby pri súčasnom zabezpečovaní výdrevou.

Na výstavbu dvojkoľajného traťového tunela Turecký vrch bola použitá Nová rakúska tunelovacia metóda (NRTM), ktorá je založená na plnom rešpektovaní vlastností horninového prostredia a využívaní jeho samonosných schopností. Z uvedených dôvodov, na základe geologického prieskumu, bolo razenie rozdelené do dvoch základných spôsobov. Prevládajúci spôsob razenia – s horizontálnym členením čelby v pevných skalných horninách (vápence a dolomity) – je rozdelený na technologické triedy výrubu TT2, TT3 a TT4. Druhý spôsob razenia – s horizontálnym i vertikálnym členením čelby – je použitý v zeminovom prostredí a v zvetranej skale, ktorá sa nachádza hlavne v úvodných častiach tunela a je rozdelený do technologických tried TT5a a TT5b.

Firma Skanska SK a. s., Závod Tunely SK vykonávala raziace práce zo severného (výjazdového) portálu (obr. 1). Keďže je severný portál umiestnený v hlbokej eróznej ryhe vyplnenej nestabilnou zeminou, bolo nutné zvislé steny stavebnej jamy zabezpečiť sústavou zvislých mikropilót opatrených vrstvou striekaného betónu hrúbky min. 15 cm, zemnými kotvami dĺžky 24 až 30 m a zvarnými prahmi (obr. 2). Ďalej je tu zabudovaná masívna pilótová stena z pilót Ø 1200 mm (obr. 3), ktorá chráni stavebnú jamu počas výstavby a tvorí opornú konštrukciu dolnej klenby hĺbeného úseku tunela. Pilótová stena zároveň tvorí základ zárubnej steny portálu vedľa budúcej koľaje.

Pred začatím razenia bolo nadložie tunela zaistené od portálu sústavou vodorovných mikropilót (mikropilótovým dáždnikom) dĺžky 20 m.

V týchto zložitých geologických podmienkach začalo 13. 1. 2010 razenie úvodných metrov. Prvých 62,4 m bolo razených pri vertikálnom i horizontálnom členení čelby (TT5b2, TT5b1) s dĺžkou

In addition to the tunnel, there will be two new railway bridges and six road tunnels constructed on the 17.7 km double-rail track. Ten existing railway bridges, three subways for passengers in railway stations, culverts and public underpasses are also to be reconstructed.

BASIC TUNNEL DATA

The total length of the tunnel is 1,775 m; of this length, a 1,740m section is mined (chainage km 102.510 00–104.250 00). The cut-and-cover sections at the southern and northern portals are 35-25 m and 10 m long, respectively. The cross-section is uniform throughout the entire double-track tunnel length, with the area of 80.75 m², excepting the mid point, where there are two 10 m long overhead line tensioning niches, expanding the cross-section area to 126.65 m².

The tunnel lining structure consists of two shells with an intermediate waterproofing membrane between them. There is no waterproofing in the invert. The primary lining temporarily supporting the excavation is in C 16/20-grade shotcrete reinforced with welded mesh. Its thickness varies from 150 mm to 400 mm. The waterproofing layers are attached to the primary lining at a certain time lag. The waterproofing layers are subsequently covered with the C 25/30 cast-in-place unreinforced or reinforced concrete secondary lining, which forms the final tunnel lining structure.

The thickness of the overburden on the tunnel centre line reaches the minimum value of about 3 m at the southern mined portal, while the highest overburden is at chainage km 103.500, approximately amounting to 100 m.

A 244 m long escape gallery is connected in the middle of the tunnel, at chainage km 103.483.00. The gallery end is in the area of a former fly-over.

CONSTRUCTION PROCEDURE – PORTAL STABILISATION AND TUNNEL EXCAVATION

The tunnelling method applied to the railway tunnel is closely associated with the historic development of constructing tunnels in our country. In our geographic latitudes, the Austrian Tunnelling Method was used for constructing initial rail tunnels from the second half of the nineteenth century. A characteristic feature of this method is a pilot tunnel, which is driven in the bottom part of the cross section (used for the verification of geological conditions). The excavation passed to an upper gallery (the future tunnel crown) via an inclined chute. From this gallery the excavation was expanded to both sides of the whole vault, with the timbering installed simultaneously.

The Turecký Vrch double-track tunnel is driven using the New Austrian Tunnelling Method (NATM), which is based on fully respecting properties of the ground environment and using its self-supporting abilities. For the above reasons, based on results of geological surveys, the excavation sequence was divided into two basic types. The prevalent excavation sequence is that with the horizontally sub-divided excavation



Obr. 1 Vizualizácia budúceho severného portálu
Fig. 1 Visualisation of the future northern portal



Obr. 2 Zárubná stena zo zvislých mikropilót opatrených vrstvou striekaného betónu a zaistená lanovými kotvami dĺžky 24 až 30 m
Fig. 2 Retement wall made up of vertical micropiles provided with a layer of shotcrete and stabilised by 24 to 30 m long cable anchors

záberu 0,8–1,0 m. Rozpojovanie hornín bolo vykonávané mechanicky – pomocou tunelbagra. Čelba bola rozdelená vertikálne na ľavý bočný výrub, pravý bočný výrub a stredový pilier (obr. 4).

Veľká výška bočných čiastkových výrubov (9,5 m) a nutnosť rýchlo uzatvárať každú vyrúbanú časť záberu, si vyžadovala členiť bočné výrubu horizontálne na kalotu, stupeň a protiklenbu (obr. 5).

Mínimálny predstih kaloty pred stupňom bol daný nutnosťou uzatvárať obvod betónového ostenia kvôli stabilite tunela (max. 4 záberu). Dobierka stupňa striedavo sledovala každý druhý záber v kalote. S rovnakým odstupom sa doberala a vystrojovala aj protiklenba bočného výrubu tak, aby bočný čiastkový výrub bol vystrojený uzavretým prstencom primárneho ostenia najneskôr 6 m za čelom kaloty.

Oba bočné výrubu mali byť razené za sebou s odstupom čelieb 6 až 10 m, no neskôr na základe priaznivých výsledkov geotechnického monitoringu mohol byť odstup čelieb až 24 m. Razenie týchto bočných výrubov bolo nesmierne náročné na meračské práce, pretože primárna výstroj každého bočného výrubu pozostávala zo 7 segmentov oceľových priehradových oblúkov (Arcus). Merači museli neustále sledovať jej budovanie, aby sa mohol profil presne zavrieť a aby sa presne spojili aj bočné výrubu so stredovým pilierom.

Výsledky geotechnického monitoringu nám taktiež umožnili začať s dobierkou stredového piliera už za situácie, keď bol ľavý bočný výrub v staničení 56,4 m a pravý bočný výrub v staničení 32,4 m. Aj tento výrub však bolo treba členiť na kalotu, stupeň a protiklenbu.



Obr. 4 Vertikálne a horizontálne členenie čelby pri razení tunelovej rúry
Fig. 4 Vertical and horizontal division of the tunnel excavation face



Obr. 3 Budovanie pilótovej steny Ø 1200 mm, ktorá tvorí opornú konštrukciu dolnej klenby hĺbeného úseku tunela
Fig. 3 Construction of a pile wall (piles 1200 mm in diameter), forming the support for the invert of the cut-and-cover section of the tunnel

face, which is applied to sound rock (limestones and dolomites). It is divided into excavation support classes TT2, TT3 and TT4. The second type, with the face divided both horizontally and vertically, is used in soil environment and in weathered rock, which is found mainly in the initial sections of the tunnel. It is sub-divided into excavation support classes TT5a and TT5b.

Tunely SK plant of Skanska SK a. s., carried out the excavation work from the northern (exit) portal (see Fig. 1). Since the northern portal is located in a deep erosion furrow filled with instable soil, it was necessary to stabilise the vertical walls of the excavation pit by a system of vertical micropiles covered with a 15 cm thick layers of shotcrete, 24 to 30 m long ground anchors and welded walers (see Fig. 2). In addition, there is a rugged pile wall constructed there, consisting of Ø 1200 mm piles, protecting the construction pit during the course of the construction and forming the support of the invert in the cut-and-cover section of the tunnel. At the same time the pile wall forms the foundation of the revetment wall at the portal, alongside the future track.

Before starting to excavate the tunnel, the tunnel overburden was stabilised from the portal by a system of 20 m long horizontal micropiles (a micropile umbrella).

In these complicated geological conditions, driving initial metres of the tunnel started on 13 January 2010. The initial length of 62.4 m was driven using both the vertical and horizontal sequence (TT5b2, TT5b1), with the round length ranging from 0.8 m to 1.0 m. Ground was disintegrated mechanically by a tunnel excavator. The excavation face was divided vertically to the left-hand side-wall drift, right-hand side-wall drift and excavation of the central rock pillar (see Fig. 4).

The significant height of the side-wall drifts (9.5m) and the necessity for quick closing of each completed part of the excavation required the horizontal division of the side-wall drift faces into the top heading, bench and invert (see Fig. 5).

The minimum advance of the top heading of the bench (4 round lengths as the maximum) followed from the necessity for closing of the circumference of the concrete tunnel lining so that the tunnel stability was ensured. The bench excavation followed after every other excavation round in the top heading. The advance of the invert excavation and support in the side-wall drifts was identical so that the side-wall drift was provided with a closed ring of the primary lining not later than 6 m behind the top heading face.

Both side-wall drifts were to be excavated consecutively, with the distance between the faces of 6 to 10 m; however, the distance was later permitted to grow up to 24 m on the basis of favourable results of geotechnical monitoring. The excavation of the side-wall drifts was extremely demanding in terms of surveying because the primary support of each side-wall drift consisted of 7 segments of lattice girders (Arcus).

Dve úrovne dopravy v tuneli počas razenia si vyžiadali úpravu dopravnej cesty násypom rampy do úrovne kaloty. S razením kaloty sa uzatvárala stropná klenba celého prierezu dvojkoľajného tunela, pričom horná časť vnútorných bokov sa zatiaľ ponechávala a vyrúbala sa až s búraním ich spodnej časti, keď sa vyrúbalo jadro stredového piliera a následne sa primárnou výstrojou zaistila i protiklenba. Tým sa uzavrela spodná klenba celého dvojkoľajného prierezu.

Od staničenia 62,4 m sa geológia zlepšila a razenie bolo preradené do technologickej triedy výrubu 5a1. Na rozpojovanie hornín sme začali postupne využívať aj vrtnotrhačie práce. Tu už bola čelba členená iba horizontálne na kalotu a stupeň s dĺžkou kroku 1,0–1,2 m. V tejto triede sme vyrúbali 20,8 m. Následne bolo razenie zaradené do technologickej triedy výrubu 4 s dĺžkou kroku 1,5 m. V tejto triede sa razilo 74,4 m až do výrubovej triedy 3, v ktorej sa pokračovalo v razení zábermi 2 m v úseku dĺžky až 625,3 m. Poslednou výrubovou triedou bola trieda 2, v ktorej prebiehali raziace práce v dĺžke 213,5 m s dĺžkou záberu 2,5 m.

Raziace práce pod Tureckým vrchom vyvrcholili v novembri 2010 slávnostnou prerážkou za účasti ministra dopravy Jána Figeľa, ako aj zástupcov investora a zhotoviteľa. Tunel razili pracovníci Závodu Tunely SK Novou rakúskou tunelovacou metódou z dvoch strán. Smerom od severného portálu a tiež zo stredu, kde bola vyrazená úniková štôľňa. Dňa 10. novembra prerazili v hornej časti profilu tunela (kalote) do protičelby, čím vzniklo prepojenie medzi severnou čelbou a únikovou chodbou (obr. 6). Následne v druhej polovici novembra bol z južnej strany prerazený tunel úplne. Meracie práce zabezpečovali geodeti zo Strediska meračstva a geológie Závodu Tunely SK. Dosiahli výborný výsledok, presnosť prerazenia mala maximálnu smerovú odchýlku 16 mm. Všetky ďalšie odchýlky boli ešte podstatne menšie, maximálne do 5 mm.

Predpoklad deformácie primárneho ostenia (konvergencie) bol na základe statických výpočtov v triedach TT2 až TT4 do 50 mm, pre TT5a 80 mm a pre TT5b 150 mm v klenbe a bokoch 50 mm, pričom maximálne dosiahnuté konvergencie boli 15 mm.

SANÁCIA KRASOVÝCH ÚTVAROV

Geológovia predpokladali, že krasové fenomény budú prítomné v podpovrchových častiach masívu, pričom budú viazané najmä na zóny hustejšieho rozpukania a rozvolnenia hornín, alebo zóny tektonického porušenia a otvorených zlomov. Tento predpoklad bol počas razenia potvrdený pri pravidelnom geologickom a geotechnickom dokumentovaní čelieb v kalote a stupni tunela. Pri geologickej dokumentácii zárubnej steny pri južnom portáli boli zaznamenané otvorené kaverny rozmerov 0,5x1,5x2,5 m ako dôsledok krasových javov



Obr. 6 Pracovníci Závodu Tunely SK pri prerážke tunela medzi severnou čelbou a únikovou chodbou

Fig. 6 Employees of the Tunely plant of Skanska at the breakthrough between the northern heading and the escape gallery



Obr. 5 Horizontálne členenie ľavého bočného výrubu

Fig. 5 Horizontal excavation sequence applied to the left-hand side-wall drift

Surveyors had to continually follow the installation so that the profile could be precisely closed and the side-wall drifts were precisely connected with the central pillar.

Owing to the geotechnical monitoring results we were allowed to start to excavate the central pillar earlier, in the situation where the left side-wall drift reached tunnel chainage of 56.4 m and the right excavation face was at tunnel chainage of 32.4 m. Anyway, even this excavation sequence had to be divided into the top heading, bench and invert.

The two levels of transport routes in the tunnel during the excavation required the treatment of the transport route by means of filling a ramp up to the top heading level. The roof vault of the entire cross-section of the double-track tunnel was closed by excavating the top heading; the upper part of the internal sides was left unbroken until the lower part of the sides was broken out, where the central pillar bench was excavated and, subsequently, even the invert was provided with the primary support. The result was that the invert was completed in the entire double-track tunnel.

From tunnel chainage of 62.4 m, geology improved and the excavation support class was changed to 5a1. We step-by-step started to apply the drill and blast technique to breaking of rock. At that time the excavation face was divided only horizontally to the top heading and bench, with the round lengths of 1.0 – 1.2 m. We completed 20.8 m of the excavation using this excavation class. Subsequently, the excavation was categorised as excavation support class 4, with the round length of 1.5 m. The length of 74.4 m of the excavation was completed in this class, until excavation class 3 ground was reached, where it continued with 2 m long excavation rounds along a 625.3m long tunnel section. The last excavation support class was class 2, where the excavation continued with the round length of 2.5 m along a 213.5 m long stretch.

Tunnelling under Turecký Vrch hill reached the peak in November 2010 by a breakthrough celebration, which was attended by Ján Figeľ, the minister of transport, as well as representatives of the project owner and the contractor. The tunnel was driven by employees of Tunely SK plant from both sides, using the New Austrian Tunnelling Method, in the direction from the northern portal and also from the mid point, to which the escape gallery was driven. On 10th November, the top heading broke through to the counter-heading, thus the northbound excavation got connected with the escape gallery (see Fig. 6). Subsequently, in the second half of November, the excavation of the entire tunnel was completed by a breakthrough from the southern side. Survey services were provided by surveyors from the survey and geological department of the Tunely SK plant. They achieved excellent results, with the breakthrough horizontal deviation reaching 16 mm. All other deviations were substantially smaller, up to 5 mm as the maximum.

The deformations of the primary lining (convergences) were anticipated on the basis of structural analyses to be up to 50 mm in classes TT2 through TT4, 80 mm for TT5 and 50 mm for TT5b in the top heading and on the sides, while the maximum convergences achieved were 15 mm.



Obr. 7 Pohľad na izolátorský voz a realizáciu hydroizolácie tunelovej rúry
Fig. 7 A view of a waterproofing installation travelling scaffold and the installation of the tunnel tube waterproofing

a v kalote na severnej strane tunela v staničení 1491 tm (tunelmeter). Vzhľadom k predpokladom uvedených vo výsledkoch inžinierskogeologického prieskumu, k faktom zaznamenaným pri geologickej dokumentácii čelieb tunela a stien portálových svahom a zárubňových stien, bolo vykonané geofyzikálne meranie aj v úrovni dna tunela. Účelom geofyzikálneho merania bolo zistenie a lokalizácia krasových javov vyskytujúcich sa v priestore pod dnom tunela v dosahu 5–7 m pod úroveň dna a odporučeniu miest pre vykonanie overovacích jadrových vrtov.

V prípade, že boli geofyzikálnym prieskumom zistené polohy krasových útvarov v úrovni dna tunela, bol postup sanácie nasledovný:

- v zistenom profile dna sa navŕtali vrty o priemere 63 mm na jadro, ich počet bol 16 a dĺžka 1,2–6,1m,
- po navŕtaní vrtu sa z vrtu vytiahlo vrtné náradie s jadrom, ktoré vyhodnotil geológ a geotechnik stavby,
- v prípade potvrdenia krasového útvaru rôznej veľkosti sa do vrtu osadil injektážny obturátor na ktorý sa napojila injektážna hadica,
- injektážnym čerpadlom sa tlačila injektážna zmes do vrtu pod tlakom max. 0,6 MPa,
- po vyplnení vrtu sa injektážna zmes odstavila a systém sa na obturátore odtlakoval.

Ďalšie poruchy horninového masívu v úseku tunela boli zatriedené do nasledovných typov:

- I. typ** – jednotlivé poruchy mocnosti do 20 cm s výplňou fľovito-piesčitou
- II. typ** – systém porúch mocností do 20 cm so vzdialenosťou cca 0,5–1,0 m, v okolí s porušeným – rozpukaným materiálom
- III. typ** – jednotlivé poruchy mocnosti od 0,8 do 1,0 m s výplňou fľovito-piesčitou
- IV. typ** – jednotlivé poruchy mocnosti nad 1,0 m s výplňou fľovito-piesčitou.

Poruchy boli väčšinou orientované paralelne s osou tunela, v menšej miere kolmo na os tunela. Výplň mala charakter piesčitého ílu pevnej konzistencie. Okrem úvodných 100 m sa výraznejšie porušený masív nachádzal tiež v úsekoch 240 – 260 tm, 290 – 310 tm a 380 – 390 tm.

Na základe týchto informácií bola navrhnutá úprava dna tunela s ohľadom na požadované parametre podložia projektovanej pevnej jazdnej dráhy (PJD). Navrhnuté riešenie premostuje poruchy vystuženými železobetónovými doskami umiestnenými pod úrovňou podkladového betónu zvrškovej dosky PJD.

Toto riešenie bolo použité v prípadoch, keď mocnosť poruchy bola menšia ako 1,20 m a na oboch stranách poruchy sa v profile

STABILISATION OF KARST FEATURES

Geologists assumed that karstic phenomena would be encountered in sub-surface parts of the massif, mainly bound to zones of denser jointing and loosening of the rock or tectonically faulted and open fault zones. This assumption was confirmed during the excavation by regular geological and geotechnical mapping of excavation faces in the top heading and tunnel bench. Open caverns with the dimensions of 0.5x1.5x2.5 m, resulting from karstic phenomena, were recorded while documenting the geology for the revetment wall at the southern portal and for the top heading on the northern side of the tunnel at tunnel metre 1491. Geophysical measurements were even carried out at the tunnel bottom level, taking into consideration the assumptions contained in the results of the engineering geological survey, the facts recorded during the geological mapping of the tunnel faces and sides of the portal trench and revetment walls. The purpose of the geophysical measurements was to identify and localise karst phenomena existing in the space under the tunnel bottom, up to the depth of 5-7 m, and to recommend places where verification core holes were to be drilled.

When the geophysical survey indicated karst features at the tunnel bottom level, the following procedure was applied to cope with them:

- Core holes 63 mm in diameter were drilled into the bottom in the particular cross section. Sixteen 1.2-6.1 m long holes were carried out;
- After drilling and pulling the drill string containing the core out, the core was assessed by the site geologist and geotechnician;
- If the existence of a karst feature with various sizes had been confirmed, a grouting packer was installed in the borehole and a grouting hose was connected to it;
- Grouting mix was forced to the borehole by a grouting pump under the maximum pressure of 0.6 MPa;
- After filling of the borehole was completed, the grout supply was stopped and the system was depressurised on the packer.

Other failures of the rock mass in the tunnel were categorised as follows:

- type I** – isolated joints up to 20 cm thick with clay-sand filling
- type II** – a system of joints up to 20 cm thick at 0.5-1.0 m spacing, surrounded by broken material
- type III** – isolated joints up to 0.8 – 1.0 m thick with clayey-sandy filling
- type IV** – isolated joints over 1.0 m thick with clayey-sandy filling.

The joints were mostly oriented parallel with the tunnel centre line and only to a smaller extent perpendicular to the tunnel axis. The filling had the character of sandy clay with solid consistency. In addition to the initial 100 m, a significantly disturbed massif was also found in sections with tunnel chainages of 240 – 260 m, 290 – 310 m and 380 – 390 m.

A modification of the tunnel bottom design was proposed with respect to the above information, taking into consideration the required parameters of the sub-grade of the slab track design. The proposed solution bridges the failures by reinforced concrete slabs located under the level of the blinding concrete under the slab track structure.

This solution was applied in the cases where the joint width was smaller than 1.20 m and rock material providing support for the bridge was found on both sides of the joint. The above solution was designed for effects of loads induced by rail traffic in the meaning of STN EN 1991-2.

CONSTRUCTION PROCEDURE – SECONDARY LINING

Casting of the concrete secondary lining itself was preceded by profiling, which means the treatment of the surface of the shotcrete primary lining. The surface and quality of the primary lining, or the surface and quality of the substrate under waterproofing layers, had to meet the following criteria:

- aggregates Ø 8 mm are used for shotcrete,
- proportion of the diameter of a surface irregularity to its height is not to be greater than 10:1,
- the minimum rounding radius is 200 mm (applicable to edges near recesses),
- the strength and thickness of the substrate layer had to be harmonised with the element fixing the membrane, in the process the pull-out strength of the substrate has to be 1.2 MPa.

Subsequently, the installation of the tunnel waterproofing started in the area of the upper vault. The 2.2 mm thick waterproofing system is

tunela nachádzal skalný materiál tvoriaci oporu premostenia. Uvedené riešenie bolo navrhnuté na účinky zaťaženia železničnou dopravou v zmysle STN EN 1991-2.

POSTUP VÝSTAVBY – SEKUNDÁRNE OSTENIE

Samotnej betonáži sekundárneho ostenia predchádzala profilácia, tj. úprava povrchu primárneho ostenia zo striekaného betónu. Povrch a kvalita primárneho ostenia, resp. povrch a kvalita podkladovej vrstvy pod izoláciu musela spĺňať nasledovné kritéria:

- striekaný betón s použitím kameniva \varnothing 8 mm,
- pomer priemeru nerovnosti povrchu k výške nemá byť menší ako hodnota 10:1,
- minimálny polomer zaoblenia 200 mm (platí pre hrany v blízkosti výklenkov),
- pevnosť a hrúbka podkladovej vrstvy sa musela zosúladiť s upevňovacím prvkom fólie, pričom minimálna odtrhová pevnosť podkladovej vrstvy musí byť 1,2 MPa.

Následne sa začalo s realizáciou hydroizolácie tunelovej rúry proti priesakom podzemnej vody v oblasti hornej klenby tunela. Hydroizolácia hrúbky 2,2 mm je navrhnutá ako rubová, inštalovaná na primárne ostenie s jednou vrstvou ochrannej a drenážnej geotextílie (obr. 7). Voda presiaknutá cez primárne ostenie bude pomocou drenážnej geotextílie zvádzaná do pozdĺžnych drénov \varnothing 200 mm a cez priečne prepojenia do hlavného drenážneho tunelového zberača.

Ďalej po hydroizolácii nasleduje ďalšia operácia – vystuženie sekundárneho ostenia tunela, ktoré je riešené kombináciou prútovej výstuže a oceľových sietí (obr. 8). Pomocnú funkciu zabezpečenia stability len oceľovej konštrukcie pred betónovaním zabezpečujú oceľové priehradové oblúky (typu Arcus) zvarené z oceľovej výstuže 10 505 R (nosné prúty a strmene) a zámočníckych prvkov S235 na spájanie jednotlivých dielov oblúka. Spojovací materiál je triedy pevnosti 8.8.

Hlavným výstužným prvkom sú oceľové siete 8x100/8x200, resp. 8x150/8x150 v komore pre napínanie trakcie. Na siete je potrebné doplniť prídavnú prútovú výstuž. Pre vystuženie z hľadiska vzniku trhlin je dôležité hlavne obojstranné vystuženie spodných častí bloku. Tieto výstuže zamedzia vzniku zvislej trhliny v strede bloku.

V tuneli sú navrhnuté i nevystužené bloky. Blok bude vytvorený len z prostého betónu. Výstuž bude potrebná len v miestach čistiacich a požiarnych výklenkov. Pre stabilizáciu chráničiek NN a slaboprúdových vedení projektant odporúča použiť dvojicu oceľových priehradových oblúkov.

Únosnosť nevystuženého bloku bola preverená statickým výpočtom. Projektant predpokladá vznik pozdĺžnej trhliny vo vrchole klenby, ktorá prechádza pozdĺž celého bloku. Táto trhlina nie je z hľadiska životnosti a celkovej stability tunela nebezpečná. Výpočet preukázal len vznik primárnej trhliny. Dostatočná rotačná kapacita by mala zamedziť vzniku sekundárnej trhliny. Pevnosť v tlaku betónu v tomto mieste nie je prekročená.

V prípade vzniku trhliny šírky viac ako 1,5 mm bude potrebná injektáž. V týchto blokoch bude potrebné sledovať vznik a rozvoj šírky trhliny.

Sekundárne ostenie razeného tunela je realizované s použitím debniaceho voza. Betonáž je navrhnutá v dvoch etapách:

- betonáž základov a protiklenby,
- betonáž hornej klenby tunela (obr. 9).

Dĺžka štandardných blokov tunela je 10 m, napojenie na štôľňu a výklenky sú osadené vždy v strede bloku, napojenia na chráničky v ostení pre káble technologického vybavenia sú cez šachty a výklenky umiestnené vždy konštantne od voľného čela bloku.

Sekundárne ostenie je riešené v niekoľkých typoch, jednak podľa technologických tried, jednak podľa základových pomerov zabudovaných pásov. Typ R1 má hrúbku ostenia min. 300 mm a je založený na základových pásoch. Bude zabudovaný v technologických triedach výrubu TT2, TT3 a TT4, takže v prevažnej dĺžke razeného tunela. Typ R2 má hrúbku ostenia min. 400 mm a je tiež založený



Obr. 8 Výstuž sekundárneho ostenia tunela
Fig. 8 Reinforcement of the tunnel secondary lining

designed to be applied to the outer surface, to the primary lining, with one layer of protective and drainage geotextile (see Fig. 7). Water seeping through the primary lining will be diverted through the drainage geotextile to longitudinal drains 200 mm in diameter and, through transverse connections, to the main collecting tunnel sewer.

Immediately after the waterproofing, another operation follows: placing of the secondary lining reinforcement, which is designed as a combination of steel bars and welded mesh (see Fig. 8). Lattice girders (Arcus) welded from reinforcing bars of steel grade 10 505 R (structural bars and stirrups) and metal elements S235 used for coupling individual elements of the girder perform an auxiliary function of stabilising the steel structure before casting of concrete. The strength grade of the coupling elements material is 8.8.

The main reinforcing element is provided by welded mesh types 8x100/8x200 or 8x150/8x150 in the overhead line tensioning niche. Additional reinforcing bars are fixed to the mesh. Placing the reinforcement at both surfaces of the bottom parts of a block is most important for the reinforcement as far as the development of cracks is concerned. This reinforcement prevents vertical cracks from developing in the middle of the block.

Both reinforced and unreinforced blocks are designed for the tunnel. A block will be made only of unreinforced concrete. Reinforcement will be required only in the locations of recesses for drainage manholes and fire equipment. A pair of steel lattice girders is recommended by the designer for the stabilisation of conduits for low voltage and weak current lines.

The load-bearing capacity of an unreinforced block was verified by a structural analysis. The designer assumed that a longitudinal crack would develop in the vault crown, to run throughout the block length. This crack is not dangerous in terms of the life length and overall stability of the tunnel. The analysis proved that only a primary crack would develop. A sufficient rotational capacity should prevent a secondary crack from developing. The compression strength of concrete is not exceeded in this location.

Grouting will be necessary in the case of the crack width exceeding 1.5 mm. It will be necessary to monitor the origination of cracks and development of the crack width on such blocks.

The secondary lining of the mined tunnel is constructed using a traveller form. Casting of concrete is proposed to be carried out in two stages:

- casting of footings and the invert,
- casting of the tunnel upper vault (see Fig. 9).

The length of standard tunnel blocks is 10 m; the connection to the escape gallery and the recesses are always found in the middle of a block; connections to the conduits for tunnel equipment cables embedded in the lining are via manholes located always at a constant distance from the free end of a block.

The secondary lining design comprises several types, depending on excavation support classes and on the foundation conditions under the blocks to be constructed. Type R1 has the minimum thickness of the lining of 300 mm and is founded on footings. It will be used in excavation support classes TT2, TT3 and TT4, which means that it will be



Obr. 9 Betonáž hornej klenby tunela
Fig. 9 Casting of the tunnel upper vault

na základových pásoch. Je určený do TT5a1, t.j. do prechodových úsekov, keď v jadre a základoch sú pevné skalné horniny, ale v kalote a nadloží horniny nezaručujú stabilitu buď v dôsledku málo pevného horninového prostredia alebo nízkeho skalného nadložia. Typ R3 má hrúbku ostenia min. 400 mm, pričom ostenie je uzavreté spodnou klenbou hrúbky min. 600 mm. Je určený do prechodového úseku s neistým podložíom v TT 5a2. Typ R4 má hrúbku ostenia min. 400 mm, kde ostenie je uzavreté takisto spodnou klenbou hrúbky min. 600 mm. Od R3 sa líši len hĺbkou vyklenutia spodnej klenby, pretože je určený do zeminového prostredia.

Sekundárne ostenie tunela je z monolitického železobetónu C25/30 – XC3, XF1, XA1, – C10,1 Dmax 16, S4.

ZÁVER

Prvýkrát bolo na našom území použité horizontálne i vertikálne členenie čelby, kde sa vertikálne členila na ľavý bočný výrub, pravý bočný výrub a stredový pilier, horizontálne na kalotu, lavicu a protiklenbu.

Počas výstavby bol kladený vysoký dôraz na bezpečnosť práce a životné prostredie. Pri zaistovaní severného portálu bola vybudovaná aj požiarňa nádrž, ktorá sa počas výstavby tunela využívala ako sedimentačná nádrž. Táto sedimentačná nádrž spolu s neutralizačnou stanicou s príslušenstvom, koalescenčným odlučovačom ropných látok a sorpčným filtrom tvorila sústavu na čistenie technologickej vody z tunela. Sedimenty zo sedimentačnej nádrže sa následne vyvážali na riadenú skládku. Na záver výstavby sa celá sústava na čistenie vôd zruší a nádrž sa späťne upraví podľa požiadaviek na požiarnu nádrž.

Popri racionálnom prístupe k ochrane a bezpečnosti práce tunelári ponechávajú tradične aj priestor a úctu pre mystickú ochranu prostredníctvom svojej patrónky sv. Barbory. Jej socha s kahanom v ruke nechýba ani na portáli tunela Turecký vrch (obr. 10).

MARIÁN ORAVEC, marian.oravec@skanska.sk,
ING. DANIEL TISAJ, daniel.tisaj@skanska.sk,
Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK

Recenzoval: Ing. Miloslav Frankovský



Obr. 10 Akt umiestnenia a požehnanie sošky sv. Barbory na portáli tunela
Fig. 10 The event of installing and blessing Saint Barbara statuette on the tunnel portal

installed along a prevalent proportion of the mined tunnel length. Type R2 has the primary lining 400 mm thick as the minimum and is founded on footings. It is intended for class TT5a1, i.e. for transition sections where sound rock is found in the bench and under foundations but the rock found in the top heading and overburden does not guarantee stability either as a result of little strong rock environment or a shallow overburden. Type R3 has the minimum lining thickness of 400 mm and the lining is closed by an invert structure at least 600 mm thick. It is intended for a transition section with an uncertain substrate in class TT 5a2. Type R4 has the minimum thickness of the lining of 400 mm, the lining is also closed by an invert with the minimum thickness of 600 mm. The difference from type R3 lies in the depth of the inverted arch because it is designed for a soil environment.

The secondary lining of the tunnel is in cast-in-situ reinforced concrete grade C25/30 – XC3, XF1, XA1, – C10,1 Dmax 16, S4.

CONCLUSION

It has been for the first time in Slovakia that both vertically and horizontally divided excavation sequence was used, where the face was divided vertically to a left-hand side-wall drift, right-hand side-wall drift and a central pillar, and horizontally to top heading, bench and invert.

High stress was put during the construction on safety at work and living environment. A fire protection reservoir, which was used during the course of the tunnel construction as a sedimentation basin, was built during the work on the stabilisation of the northern portal. This sedimentation basin, together with a neutralisation station with accessories, a coalescence oil separator and a sorption filter, made up a system for treating process water flowing from the tunnel. Sediments from the sedimentation basin were subsequently taken away to a sanitary land fill. At the construction end, the whole water treatment system will be cancelled and the basin will be restored following requirements for a fire protection reservoir.

Apart from a rational approach to safety at work, tunnellers traditionally leave some space and respect for mystical protection through their patron, Saint Barbara. Her statuette, holding a miner's safety lamp in hand, is not missing at the portal of the Turecký Vrch tunnel (see Fig. 10).

MARIÁN ORAVEC, marian.oravec@skanska.sk,
ING. DANIEL TISAJ, daniel.tisaj@skanska.sk,
Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Realizačný projekt stavby Modernizácia železničnej trate Nové Mesto nad Váhom – Púchov, I. etapa. REMING Consult, a. s.; Metroprojekt Praha, a. s.; Basler & Hofmann Slovakia, s. r. o.
- [2] Záverečná správa o prevedenom georadarovom meraní na počve tunela Turecký vrch – SEVER v tunelovej metráži 69–640 m. ARCADIS Geotechnika

TUNEL OSEK – SHRUTÍ PRŮBĚHU VÝSTAVBY

OSEK TUNNEL – RECAPITULATION OF THE COURSE OF CONSTRUCTION

IVAN BENOVIČ, KAREL VESELÝ

ÚVOD

Tunel Osek je součástí III. tranzitního železničního koridoru z Prahy směrem do Plzně nedaleko města Hořovice u obce Osek. Tady je budována přeložka železniční trati do oblouku o větším poloměru, aby bylo umožněno zvýšení traťové rychlosti na 125 km/h pro klasické vlakové soupravy a 155 km/h pro soupravy s naklápěcími skříněmi. Délka tunelu je 324 m a poloměr oblouku 750 m. Výstavbu tunelu realizuje firma Hochtief CZ, a. s., pro sdružení firem Skanska – Eurovia – Viamont. Stavba je částečně financována z fondů EU.



Obr. 1 Pohled na berounský portál
Fig. 1 A view of the Beroun portal

GEOLOGICKÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

V zájmovém území je předkvartérní podklad budován sedimentárními horninami mladšího ordoviku, konkrétně vinickým souvrstvím, které je tvořeno tmavěšedými a černými jílovitými břidlicemi s příměsí jemnozrnného písku. Horniny jsou shora v mocnosti cca 1–1,5 m zcela zvětralé třídy R6, hlouběji v mocnosti cca 1 m jsou silně zvětralé třídy R5 a dále do hloubky mírně zvětralé až navětralé třídy R4. Souvrství je tektonicky porušené, přičemž významnější zlomové linie jsou vyplněny diabasy, které jsou převážně zcela zvětralé třídy R6, místy s pevnějšími úlomky třídy až R4. Horniny vinických vrstev jsou zvrásněné a intenzivně rozpukané, s velmi velkou až velkou hustotou diskontinuit. Směr sklonu vrstev je generálně k JV a upadají pod úhly cca 45–70°. Podle projektu se očekávalo, že v závěru hloubené rýhy budou zastíženy i horniny letenského souvrství. Tyto horniny však zastíženy nebyly. Kvartérní pokryv je převážně budován deluviálními, popř. deluviofluviálními sedimenty mocnosti 0,5 až 1 m, a prakticky plynule přechází do rozložených hornin předkvartérního podkladu. Sedimenty jsou tvořeny zeminami charakteru jílu písčitého až štěrkovitých, tuhé až pevné konzistence, s příměsí dobře opracovaných valounů, kamenů až balvanů, velikosti až cca 30 cm. Mocnost humózního pokryvu se pohybuje kolem 0,3–0,5 m.

INTRODUCTION

The Osek tunnel is part of the 3rd railway transit corridor leading from Prague toward Plzeň. It is located near the town of Hořovice, at the village of Osek. In this location, a rail track diversion is under construction, leading to a curve with an increased radius, allowing the speed limit over the track to be increased to 125 km/h for classical trains and 155 km/h for trains with tilting bodies. The tunnel is 324 m long, the radius of the horizontal curve is 750 m. The contractor for the tunnel is Hochtief CZ a.s., the main contractor is a consortium consisting of Skanska, Eurovia and Viamont. The construction is partially financed from European funds.

GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA OF OPERATIONS

The pre-Quaternary basement consists of Upper Ordovician sedimentary rocks, concretely the Vinice strata, comprising dark-grey and black clayey shales with admixture of fine-grained sand. The rock mass is completely weathered up to the depth of about 1 – 1.5 m (categorised as class R6); deeper it is heavily weathered up to the depth of about 1 m (class R5) and further downward weathered to slightly weathered (class R4). The series of strata is faulted, with the more significant fault lines filled with diabases, which are mostly completely weathered (class R6), locally containing harder fragments, up to class R4. The Vinice strata rocks are folded and intensely fractured, with very high to high density of discontinuities. The layers have a general S-E trend, dipping at 45–70°. According to the design, it was expected that even the Letná strata rocks would be encountered at the end of the open trench. However, these rocks were not encountered. The Quaternary cover mostly consists of layers of deluvial or deluviofluvial sediments 0.5 to 1.0 m thick, passing practically fluently to decomposed rocks of the pre-Quaternary base. The sediments comprise soils with a sandy clayey to gravelly character, with stiff to solid consistency, with an addition of well rounded cobbles, stones to boulders with the dimensions up to about 30 cm. The thickness of the humic cover fluctuates about 0.3 – 0.5 m.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

It turned out during the excavation that there was virtually no ground water present in the ground environment and the ground was in the natural state, only locally with increased moisture. Local water inrushes were encountered during seasonally increased amounts of atmospheric precipitation. They had to be drained during the excavation of the construction trench on both sides and pumped out.

TECHNICAL SOLUTION

The 324.0 m long tunnel was built using the cut-and-cover method. It runs throughout its length in a right-hand curve with the radius on the tunnel centre line of 747.805 m. The tunnel gradient rises in the direction of chainage at 11.959 ‰. As required by the fire design, an access road with a mustering area is designed for the exit (Plzeň) portal, while a staircase allowing persons to

HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Během odtěžování se ukázalo, že podzemní voda, tedy zvodnění horninového prostředí prakticky není, a hornina je v přirozeném stavu, jen lokálně se zvýšenou vlhkostí. Při sezonním zvýšení atmosférických srážek však docházelo k lokálním výronům, které bylo nutné při otevření stavební jámy v její celé délce oboustranně drénovat a následně odčerpávat.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Tunel délky 324 m je proveden jako hloubený a v celé délce je veden v pravém oblouku o poloměru 747,805 m v ose tunelu. Po celé délce tunel stoupá ve směru staničení ve sklonu 11,959 ‰. Podle požadavku požárně-bezpečnostního řešení je na výjezdovém plzeňském portálu navržena přístupová komunikace s nástupní plochou, u vjezdového berounského portálu má být provedeno ve svahu zářezu trati schodiště pro únik osob z prostoru portálu do volného terénu. V tunelu je po levé straně umístěn požární suchovod, který má přípojné místo v šachtě u nástupní plochy na výjezdovém portálu tunelu. Tunel byl realizován ve svahované stavební jámě. Stěny stavební jámy byly zajištěny stříkaným betonem vyztuženým ocelovou sítí a kotveny hřebíky délky 4 a 5 m. Toto zajištění bylo navrženo u dočasných svahů, které byly zpětně zasypány. Svahy v oblasti sklonech bez zajištění stříkaným betonem. Zpětné zásypy byly provedeny vhodným materiálem získaným při hloubení stavební jámy. Zásypy nebyly prováděny v bezprostřední blízkosti fóliové izolace proti vodě. Ta je ochráněna vrstvou vyztuženého stříkaného betonu, sloužícího jako ztracené bednění, a nehrozí tedy její poškození. Tunel je přesypán oproti okolnímu terénu. V místě křížení s přeložkou komunikace v km 61,986 a u portálů byly na zásypy kladeny zvýšené požadavky.

Ostění tunelu je mimo portálových pásů navrženo jako dvouplášťové s mezilehlou fóliovou izolací. Vnější ostění, tzv. falešné primární ostění, slouží jako ztracené bednění a ochrana izolace proti vodě. Je navrženo ze stříkaného betonu C20/25 tl. 300 mm, vyztuženého ocelovými příhradovými rámy a sítěmi. Vnější ostění je provedeno na rozšířené základové pasy pro definitivní ostění. Po provedení falešného primárního ostění proběhl následný pracovní postup jako při provádění raženého tunelu, tj. provedení hydroizolačního souvrství, montáž výztuže definitivního ostění, betonáž definitivního ostění pomocí bednicího vozu. Jako bednicí vůz byla použita forma firmy Ulma, jejíž nosnou konstrukci tvořily nosníky Meccano. Pod pojezdem formy bylo provedeno zesílení podkladní betonové desky ve vzdálenosti 2 m od hrany základového pasu na levé i pravé straně tunelu. Zesilující základový pás o rozměrech 800x400 mm byl vyztužen KARI sítí i průběžnými pruty Ø 16 mm. Definitivní ostění je provedeno z monolitického železobetonu C25/30, minimální tloušťky 350 mm. Betonáž probíhala do bednicího vozu po sekcích délky 12 m. Portálové tunelové pásy se šikmými čely byly prováděny do oboustranného bednění, tloušťka ostění je 500 mm. Pro tunel byla požadována třída vodotěsnosti 0 dle TKP 20. Tato vodotěsnost je zajištěna mezilehlou fóliovou izolací tl. 2,2 mm se signální vrstvou, navrženou v rozsahu klenby a opěr. Izolace je ukončena v patě opěr, kde je vedena boční tunelová drenáž. Dno tunelu, resp. spodní klenba u portálových pásů, není izolováno. Voda zachycená izolací je svedena boční drenáží k vjezdovému portálu. Předpokládá se, že boční tunelová drenáž odvede veškeré průsaky z okolního horninového masivu a k průsakům dnem tunelu by nemělo docházet. Případné průsaky dnem tunelu jsou odváděny střední tunelovou drenáží k vjezdovému portálu. Tunelové drenáže jsou navrženy ve sklonu shodném se sklonem trati. V záchranných

escape from the portal trench to open terrain is to be constructed on the slope at the entrance (Beroun) portal. A dry fire main is located on the left-hand side of the tunnel. The connection point is in a manhole next to the mustering area at the exit portal. The tunnel was built in a sloped construction trench. Sides of the construction trench were stabilised by shotcrete reinforced with steel mesh and 4.0 and 5.0 m long dowels. This system was designed for temporary slopes which were subsequently backfilled. The slopes in the portal areas which are not backfilled have the final slopes without the shotcrete stabilisation. Backfilling was carried out with a suitable material obtained during the excavation of the construction trench. Backfilling was not carried out in the immediate proximity of the waterproofing membrane. The membrane is protected by a layer of reinforced shotcrete serving as sacrificial formwork, therefore it is not jeopardised by a damage. The tunnel backfill protrudes over the surrounding terrain. Increased requirements were placed on the backfill at the intersection with a road at km 61.986 and at portals.

The tunnel lining is, with the exception of portal blocks, designed as a two-shell structure with an intermediate waterproofing membrane. The outer lining, the so-called false primary lining, has the function of sacrificial formwork and protection of the waterproofing membrane. It is designed in C20/25 shotcrete, 300 mm thick, reinforced with lattice girders and steel mesh. The outer lining is supported by widened footings prepared for the final lining. When the false primary lining had been completed, the work procedure identical with the procedure applied to mined tunnels took place (the installation of waterproofing layers, placing of the final lining concrete reinforcement, casting of the final lining using a traveller form). A traveller form, manufactured by ULMA, the structure of which consisted of Meccano beams, was used. The thickness of the concrete mattress was increased under the wheels of the formwork, at the distance of 2 m from the footing, along both the left and right sides of the tunnel. The thicker (800 x 400 mm) footing was reinforced with Kari net and straight rods 16 mm in diameter. The final lining is in cast-in-situ C25/30 reinforced concrete with the minimum thickness of 350 mm. Traveller formwork was used for casting of the 12 m long blocks. The portal blocks with slanted front ends were cast using a double-sided form; the lining is 500 mm thick. Watertightness grade 0 according to the technical specification TKP 20 was prescribed for the tunnel. This waterproofing capacity is provided by a 2.2 mm thick intermediate waterproofing membrane with a signal layer, which is designed to cover the vault and side walls. The waterproofing is terminated at the bottom of the side walls, where there is the side drainage located. The tunnel bottom, or the inverted arch, in the portal blocks is not provided with waterproofing. Water stopped by the membrane is led via the side drains to the entry portal. The side tunnel drainage is assumed to divert all seepage from the surrounding ground mass, thus no seepage through the bottom should appear. Contingent seepage through the tunnel bottom is evacuated through the central tunnel drain to the entry portal. The tunnel drains are designed on a gradient identical with the gradient of the track. In safety recesses there are cleaning manholes on the side drains. Owing to the "false primary lining" technique, i.e. a reinforced shotcrete vault acting as sacrificial formwork, the volume of earth moving operations during the excavation of the construction trench and backfilling is reduced, the works are accelerated and even the quality of casting concrete when the traveller form is used instead of double-sided formwork is improved. In addition, all activities are performed under the protection against climatic effects; the final lining is cast and the waterproofing layer is installed in the same way as when a mined tunnel is constructed. A drawback of this technique is the relatively slender structure consisting of lattice girders and Kari net, which have to be fixed in the required shape before the shotcrete is applied.

výklencích jsou umístěny šachty na čištění boční drenáže. Použitá technologie „falešného primárního ostění“, tj. klenby z vyztuženého stříkaného betonu sloužícího jako ztracené bednění slouží k minimalizaci objemu zemních prací při provádění stavební jámy a zpětných zásypů, urychlení provádění a rovněž vede ke zkvalitnění betonáže při využití bednicího vozu, místo využití oboustranného bednění. Veškeré činnosti jsou rovněž prováděny pod ochranou před klimatickými vlivy, betonáž definitivního ostění a provedení vodotěsné izolace probíhají jako při provádění raženého tunelu. Záporom této technologie je poměrně subtilní konstrukce z příhradových nosníků a kari sítí, kterou je nutné fixovat do požadovaného tvaru před prováděním stříkaných betonů.

HLOUBENÍ STAVEBNÍ JÁMY

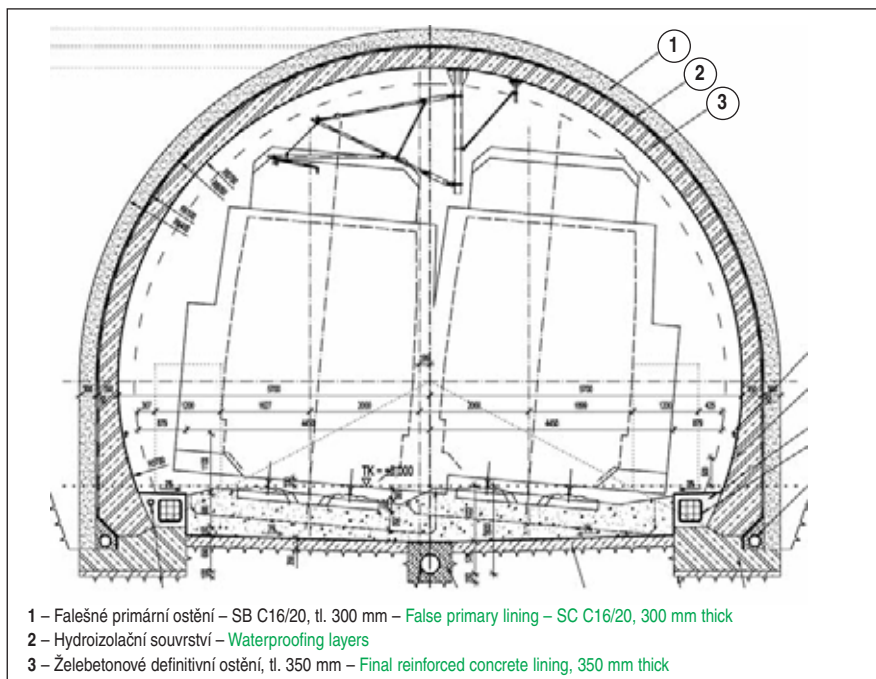
Konstrukce tunelu je provedena ve svahované stavební jámě. Současný terén je rovinný, případné nerovnosti jsou pozvolné. Tento stav je pro hloubení stavební jámy příznivý. Délka stavební jámy je 324 m, šířka v patě svahů je 13,2 m, resp. 14,7 m v místě výklenků. Začátek stavební jámy je v km 61,750 000, konec je v km 62,074 951. Odtěžování stavební jámy probíhalo po etážích za současného zajišťování stability svahů stříkaným betonem s výztužnou sítí a kotvením hřebíky \varnothing R25 zaháněnými do vrtů vyplněných cementovou zálivkou. Sklony svahů stavební jámy jsou s ohledem na výsledky IG průzkumu jako svahy dočasné tak, aby byla zajištěna jejich stabilita po dobu výstavby tunelu. Svahy v oblasti budoucích portálů, které nebudou zpětně zasypany, jsou provedeny v definitivním sklonu jako svahy trvalé.

ZAJIŠTĚNÍ SVAHŮ STAVEBNÍ JÁMY

Stěny stavební jámy jsou zajištěny stříkaným betonem C16/20 tloušťky 100 mm se sítí 150x150/8x8 mm a kotvením hřebíky z oceli 10505 R, \varnothing 25mm v délkách 5 m v etáži I, resp. 4 m v etážích II, III a IV. Hřebíky jsou osazeny do vrtů \varnothing 80 mm, vyplněných cementovou zálivkou. Hřebíky jsou provedeny ve sklonu 20° od vodorovné roviny.

FALEŠNÉ PRIMÁRNÍ OSTĚNÍ

Falešné primární ostění je provedeno v celkové délce 300 m, ve staničení TM 12 až 312. Je navrženo ze stříkaného betonu C20/25 v tloušťce 300 mm, výztuž z oceli 10 505 R. Falešné primární ostění je provedeno na rozšířené základové pasy pro definitivní ostění, ze kterých jsou vytaženy kotevní trny. Vnitřní poloměr ostění je 6100 mm, což představuje zvětšení o 50 mm vzhledem k vnějšímu líci definitivního ostění. Tento prostor je určen pro tolerance, provedení hydroizolačního souvrství a případné deformace při betonáži definitivního ostění. Hlavním nosným prvkem výztuže jsou příhradové oblouky, tříprutové, trojúhelníkového profilu o výšce $h = 230$ mm. Příhradové oblouky jsou svařeny z betonářské oceli, skládají se z šesti dílů, které jsou vzájemně sešroubovány. Vzdálenost mezi oblouky je v podélném směru 1000 mm. K příhradovým obloukům se z obou stran přikládají pásy výztužné sítě 150x150/8X8 mm a příložky \varnothing R16. Na horní líc se připevňuje pletivo 4x4/1,8x1,8 mm, např. B systém. Provedení stříkaného betonu bylo uskutečněno ve třech vrstvách z vnitřní strany. Falešné primární ostění sloužilo jako podkladní vrstva pro izolaci proti vodě, jeho



Obr. 2 Vzorový příčný řez úseku bez výklenku

Fig. 2 Typical cross-section through a section without a recess

EXCAVATION OF CONSTRUCTION TRENCH

The tunnel structure was built in a sloped construction trench. The existing terrain is flat or mildly undulated. This condition is favourable for the excavation of a construction trench. The construction trench is 324.0 m long and 13.2 m and 14.7 m wide at the base of slopes and in locations of safety recesses respectively. The beginning and the end of the construction trench is at chainage km 61.750000 and km 62.074951 respectively. The excavation of the construction trench was divided into benches, with the slopes concurrently stabilised with shotcrete anchored with dowels \varnothing R25 driven in boreholes filled with cement grout. Taking into consideration the results of engineering geological investigation, the slopes of the construction trench are temporary, designed with the objective to remain stable during the tunnel construction period. Slopes in the area of the future portals, which will not be backfilled, are excavated with the final slopes as required for the permanent existence.

STABILISATION OF SLOPES OF THE CONSTRUCTION TRENCH

Slopes of the construction trench are stabilised with a 100 mm thick layer of C16/20 shotcrete, steel mesh 150x150/8x8 mm and 10505 R steel dowels 25 mm in diameter, 5.0 m and 4.0 m long on the bench I and benches II, III and IV respectively. The dowels are inserted into 80 mm-diameter boreholes filled with cement mortar. The dowels are installed at 20 degrees from the horizontal.

FALSE PRIMARY LINING

The 300 mm thick false primary lining has been completed at the total length of 300 m, within tunnel chainage TM 12 through 312. It is designed in C20/25 shotcrete with reinforcement of 10 505 R steel. The false primary lining was built on widened footings prepared for the final lining, with starter bars protruding from them. The inner diameter of the lining is 6,100 mm, which means an increase by 50 mm with respect to the outer surface of the final lining. This space is intended for tolerances, for the installation of the waterproofing layer and contingent deformations during casting of the concrete final lining. The main load-bearing element of the reinforcement are lattice girders with three chord members, with a 23 mm high triangular profile. The lattice



Obr. 3 Izolace osazená na primární ostění
Fig. 3 Waterproofing installed on the primary lining

vnitřní líc splňoval požadavky kladené na podkladní vrstvy pod izolační fólii.

IZOLACE PROTI VODĚ

Pro tunel je požadována třída vodotěsnosti 0 dle TKP 20. Tato vodotěsnost je zajištěna mezilehlou fóliovou izolací JUNIFOL – T PELLD tl. 2 mm + signální vrstva, navrženou v rozsahu klenby a opěr. Izolace je ukončena v patě opěr, kde je vedena boční tunelová drenáž. Na upravený povrch falešného primárního ostění byla připevněna nastřelením pomocí speciálních hřebů s terčíky ochranná vrstva geotextílie NETEX APP 500 B2. Poté se nastřelily terče pro navaření izolace. Izolace byla v příčném směru provedena v jednom kuse. Jednotlivé pásy izolace byly svařovány dvojitým svarem, umožňujícím provedení tlakové zkoušky.

PORTÁLY

Definitivní ostění portálových pásů je provedeno v tloušťce 500 mm. Čelo portálu je zešíkmeno ve sklonu 45° od vodorovné roviny a je opatřeno obvodovým límcem šířky 400 mm a výšky 100 mm. Tento límec je ukončen v místě přechodu zešíkmené části na svislou, tj. na úrovni TK+1 m. Základové pasy mají rozměry 1750x1223 mm, délka je 12 m u P1 i u P2. Jsou provedeny ze železobetonu C25/30-XC1, XF1, XA1, výztuž je z oceli 10 505 R. Pracovní spára mezi základovými pasy a opěrou je navržena jako vodorovná. Minimální krytí výztuže je 50 mm. Spodní klenba je provedena ze železobetonu C25/30-XC1, XF1, XA1, výztuž je z oceli 10 505 R. Tloušťka spodní klenby je 400 mm. Rub spodní klenby je navržen v poloměru 23,4 m, vnitřní líc o poloměru 23 m. Pracovní spára mezi spodní klenbou a základovými pasy je provedena svislá s vytaženou výztuží Ø R20. Výztuž je navržena z Ø R20 v příčném směru, rozdělovací výztuž v podélném směru je Ø R10. Opěry a klenba jsou provedeny ze železobetonu C25/30-XC1, XF1, výztuž z oceli 10 505 R. Betonáž opěr se prováděla do oboustranného bednění. Pro klenbu a opěry je navrženo vodotěsné ostění podle TKP 20, třída vodotěsnosti 0. Výztuž je navržena prutová, vázaná. Nosná výztuž je provedena z Ø R16, rozdělovací výztuž je Ø R12 a Ø R10. Spony jsou z Ø R12. Minimální krytí výztuže je 50 mm. Na styku s tunelovými pásy č. 01 a č. 25 je ve vzdálenosti 0,3 m od čela osazen ukončovací navařovací profil šířky 240 mm. Těsnicí pás byl proveden z jednoho kusu bez přerušení.

girders are welded from concrete reinforcement steel. They consist of 6 parts, which are bolted to each other. The spacing of the arches in the longitudinal direction is 1,000 mm. Mats of 150x150/8X8 mm steel mesh and strap pieces Ø R16 are attached to both sides of the lattice girder. Steel fabric 4x4/1.8x1.8 mm, e.g. B-System, is fixed to the upper surface. The shotcrete was applied from the inner side in three layers. The false primary lining acted as a sub-base for the waterproofing system. The inner surface of the lining fulfilled requirements for sub-bases of waterproofing membranes.

WATERPROOFING

The watertightness grade 0 according to the technical specification TKP 20 is prescribed for the tunnel. This waterproofing grade is ensured by intermediate waterproofing membrane JUNIFOL – T PELLD 2.0 mm thick + a signal layer, which is designed to cover the vault and side walls. The membrane is terminated at the bottom of side walls, where the side tunnel drains are laid. NETEX APP 500 B2 protective geotextile was attached to the treated surface of the primary lining using special nails with roundels. Then blanks to which the membrane is to be welded were shotfired. In the transverse direction, the membrane was installed as a single piece. Individual bands of the membrane were welded together by double-seam welds, allowing air pressure testing to be conducted.

PORTALS

The final lining of portal blocks is 500 mm thick. The front end of the portal block is slanted at 45° from horizontal and is provided with a 400 mm wide and 100 mm high flange. This flange is terminated at the transition between the slanted part and the vertical part, i.e. at the level of the top of rail + 1 m. The cross-sectional dimensions of footings are 1,750 x 1,223 mm; their length is 12.0 m at both the P1 and the P2 portal blocks. They are in C25/30-XC1, XF1, XA1 reinforced concrete, the reinforcement is of 10 505 R steel. The construction joint between the footings and the side wall is designed to be horizontal. The minimum concrete cover over the reinforcement is 50 mm. The inverted arch is in C25/30-XC1, XF1, XA1 reinforced concrete, the reinforcement is of 10 505 R steel. The inverted arch is 400 mm thick. The radius of the outer surface of the inverted arch is 23.4 m; the radius of the inner surface is 23.0 m. The construction joint between the invert and footings is vertical, with starter bars Ø R20 protruding from it. The transverse reinforcing bars are Ø R20, longitudinal distribution bars are Ø R10. The side walls and upper vault are in C25/30-XC1, XF1 reinforced concrete, the reinforcement is of 10 505 R steel. The side walls were cast into a double-sided form. Waterproof lining meeting requirements of the TKP 20 with the waterproofing grade 0 is designed for the upper vault and side walls. Tied-up steel bar reinforcement is designed. The load-bearing reinforcement consists of bars Ø R16, while distribution bars are Ø R12 and Ø R10. Stirrups are from Ø R12. Minimum concrete cover over reinforcement is 50 mm. A 240 mm wide profile terminating the waterproofing membrane is installed at the contact with tunnel blocks No. 01 and 25, at the distance of 0.3 m from the joints. The waterstop was from a single uninterrupted piece. Before casting of the portal blocks P1 and P2 a hydrophilic WATERSTOP RX with a fixing grid was fixed to the front ends of tunnel blocks No. 01 and 25. It was shotfired to the lining every 250 mm. Construction joints and expansion joints between individual casting blocks were left exposed as grooves, which were formed by means of a rubber strip fixed to the formwork before each concrete casting event. The space between the invert and gravel ballast is filled with C8/10-X0 concrete; the surface is inclined at 3 % down toward the central tunnel drain.

Před provedením portálových pásů P1 a P2 byl na čelo tunelových pásů č. 01 a 25 osazen bobtnavý pásek WATERSTOP RX s upevňovací mřížkou, kotveným po 250 mm přistřelením k ostění. Pracovní a dilatační spáry mezi jednotlivými sekcemi betonáže byly v líci tunelu příznány jako drážky a byly vytvořeny pomocí pryžového pásu osazeného do formy před každou betonáží. Prostor mezi spodní klenbou a štěrkovým ložem je vyplněn betonem C8/10-X0, líc je vyspádován směrem ke střední tunelové stoce ve sklonu 3 %.

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Definitivní ostění je budováno pod pláštěm falešného primárního ostění. Tloušťka ostění je 350 mm, poloměr vnitřního líce ostění je 5700 mm v rozsahu klenby a opěr. Základové pasy o rozměru 1950x800 mm, délky 12 m jsou provedeny ze železobetonu C25/30-XC1, XF1, XA1, výztuž je z oceli 10 505 R. Pracovní spára mezi základovými pasy a opěrou je provedena jako radiální. Minimální krytí výztuže je 50 mm. Opěry a klenba jsou provedeny ze železobetonu C25/30-XC1, XF1, výztuž z oceli 10 505 R. Betonáž klenby a opěr byla provedena do formy, po sekcích délky 12 m. Hlavním nosným prvkem výztuže jsou příčné příhradové oblouky, čtyřprutové, obdélníkového profilu o výšce $h = 200$ mm. Příhradové oblouky jsou svařeny z betonářské oceli, skládají se z 5 dílů, které jsou navzájem sešroubovány. Vzdálenost mezi oblouky v podélném směru je 1700 mm. Příhradové oblouky jsou na rubové straně opatřeny pásy výztužné sítě šířky 900 mm, k nim se přikládají pásy sítě šířky 1300 mm. Na líci byly osazeny pásy sítě šířky 2200 mm. Tato výztuž je doplněna příložkami z samostatných prutů $\varnothing R16$. Minimální krytí výztuže je 50 mm. Beton dna je z prostého betonu C16/20-X0 v tloušťce 200 mm. Dno je vyspádováno ve sklonu 3 % směrem ke střední tunelové stoce. Záchranné výklenky v tunelu mají jednotný rozměr, podle toho je navržena i společná základní kostra výztuže výklenků. Je tvořena v zadní části ze tří příhradových stojek a příhradového překladového nosníku, v přední části z příhradového nosníku a upravených výztužných příhradových oblouků definitivního ostění. K této kostře jsou připevněny sítě a příložky $\varnothing R16$.

VYBAVENÍ TUNELU

Po obou stranách ostění tunelu je veden služební chodník šířky 880 mm, ve kterém jsou uloženy kabelovody pro rozvody inženýrských sítí. V prostoru před výklenky jsou na kabelovodech provedeny šachtice 1,0x0,4 m, ze kterých jsou vyústěny chráničky pro rozvody osvětlení a měření bludných proudů. Osvětlení tunelu je navrženo po obou stranách zářivkovými svítidly à 12 m. Po celé délce tunelu je umístěn do chodníkového ústupku na levé straně požární suchovod DN 100 mm z PE potrubí. V každém lichém záchranném výklenku jsou do revizních šachet pateční drenáže vyvedeny výtokové rychlouzavírací ventily DN 52. Mezi záchrannými výklenky je umístěno po obou stranách tunelu madlo z ocelové trubky. Portály jsou opatřeny ochrannou konstrukcí se sítí, která plní funkci protitidotkové zábrany.

ODVODNĚNÍ

Tunel je proveden v celé délce ve sklonu 11,959 ‰, ve stoupání ve směru staničení od vjezdového portálu P1 k výjezdovému portálu P2. Během výstavby tunelu se vyskytly průsaků spodních vod do stavební jámy. Pro ochranu základové spáry byla vybudována pomocná štěrková drenáž probíhající podél základových pásů na levé i pravé straně tunelu ve vzdálenosti 0,5 m od základového pasu. Podélný sklon štěrkové drenáže je dán sklonem tunelu. Příčný profil tvoří obdélník o rozměrech 0,4x0,2 m. V portálu P1 navazuje na štěrkovou



Obr. 4 Montáž výztuže definitivního ostění z armovacího vozíku
Fig. 4 Installation of the final lining reinforcement from a travelling scaffold

FINAL LINING

The final lining is built under the shell provided by the false primary lining. The lining is 350 mm thick; the radius of the inner surface of the lining around the vault and side walls is 5,700 mm. The footings have the cross-sectional dimensions of 1,950 x 800 mm and the length of 12.0 m. They are in C25/30-XC1, XF1, XA1 reinforced concrete with reinforcement of 10 505 R steel. The construction joint between the footings and side walls is radial. The minimum concrete cover is 50 mm. The side walls and the vault are in C25/30-XC1, XF1 reinforced concrete with reinforcement of 10 505 R steel. The vault and side walls were cast into formwork, with the casting blocks 12.0 m long. The main load-bearing element of the reinforcement are transverse lattice girders with four chord members, with a 200 mm high rectangular cross-section. The lattice girders are welded from concrete reinforcing bars. They consist of 5 parts, which are bolted to each other. The spacing of the arches in the longitudinal direction is 1,700 mm. Attached to the outer side of the lattice girder are 900 mm wide mats of steel mesh. Mats 1,300 mm wide are attached to them. This reinforcement is supplemented by strap pieces from independent bars $\varnothing R16$. The minimum concrete cover is 50 mm. The 200 mm thick bottom is in C16/20-X0 unreinforced concrete. The bottom is inclined at 3 % down toward the central tunnel drain. Safety recesses in the tunnel have unified dimensions. Taking this feature into consideration, even a common basic frame of the reinforcement was designed for the recesses. In the rear part it is formed by three lattice columns and a lattice lintel; in the front part it consists of a lattice beam and modified reinforcing lattice girders used for the final lining. Steel mesh and strap pieces $\varnothing R16K$ are fixed to this frame.

TUNNEL EQUIPMENT

A service walkway 880 mm wide with cable ducts for the distribution of engineering networks are led along both sides of the tunnel lining. Manholes 1.0 x 0.4 m with casing pipes leading from them, designed for the distribution of cables for the lighting and measurement of stray currents, are provided on the cable ducts in the spaces in front of the recesses. The fluorescent tunnel lining is designed on both sides of the tunnel, with the lighting fixtures installed at 12 m intervals. A dry fire main DN 100 mm from PE pipes is installed in a recess in the left-hand side walkway throughout the tunnel length. A manhole on the side bottom drain in every other (odd) safety recess houses a fast-acting valve DN 52. A handrail from a steel pipe is installed on both sides of

drenáž potrubí DN 250 mm, které prochází skrz výplňový beton nad spodní klenbou portálu a za portálem se napojuje na příčné svodné potrubí propojující drenážní šachty. V celé délce tunelu je navržena fóliová izolace, která je ukončena v patě opěr podélnou drenáží. Dno není izolováno a případné průsaky dnem pod kolejové lože jsou jímány střední tunelovou stokou. Pateční podélná drenáž je ve výklencích zaústěna do revizní šachty. V šachtě je potrubí přerušeno vložením čistícího kusu, který zajišťuje přístup do potrubí. Šachty jsou zakryty ocelovým poklopem o rozměru 1000x1000x5 mm. Pateční podélná drenáž je navržena ve sklonu tunelu. Odvodnění kolejového lože je řešeno vypádováním v příčném směru ve sklonu 3 % směrem ke střední tunelové stoce. Střední tunelová stoka profilu 350 mm je navržena ve sklonu tunelu a má dno v úrovni 1600 mm pod TK. Střední tunelovou stoku tvoří tlakuvzdorná PE DN 350 mm, SN 8 kN/m², s částečně perforovaným povrchem a hladkým dnem ukládaná do mezerovitěho betonu v rýze pod kolejovým ložem. Monolitické betonové revizní šachty 500x500 mm jsou umístěny ve vzdálenostech po 24 m, shodných s polohou šachet v záchranných výklencích. Revizní šachty na střední tunelové stoce jsou opatřeny betonovým poklopem vyztuženým sítí. Pateční drenáže a střední tunelová stoka jsou v prostoru před portály zaústěny do plastových šachet DN 500 mm. Šachty jsou zakryty typovým ocelovým poklopem. Systém patečních drenáží a střední tunelová stoka nejsou navzájem propojeny.

KABELOVODY

V chodníkovém ústupku po obou stranách tunelu byl vytvořen devíticestný kabelovod z PE. Kabelovod je tvořen devíti chráničkami DN 110 mm, které jsou zabetonovány do pochozí stezky. Kabelovody jsou v prostoru před portály zakončeny v plastových šachtách Carson o rozměru 800x1690x1220 mm (šířka x délka x hloubka). Šachty jsou zakryty typovým ocelovým poklopem. Podélně jsou na kabelovodu vytvořeny v pochozí stezce před každým záchranným výklenkem revizní a manipulační šachty o rozměrech 400x940x500 mm zakryté ocelovými poklopy o rozměrech 1000x460x5 mm, osazenými do rámu z ocelových úhelníků. Z těchto šachet jsou vyvedeny PE chráničky pro elektroinstalace a měření bludných proudů.

OCHRANA PROTI BLUDNÝM PROUDŮM

Ochrana konstrukcí tunelu je zásadně provedena jako pasivní. Od okolního horninového prostředí jsou konstrukce tunelu chráněny pláštovou izolací v rozsahu klenb a opěr. Do líce tunelového ostění jsou vyvedeny kontrolní měřicí body, vodivě propojené s výztuží ostění.

TECHNOLOGIE A POSTUP VÝSTAVBY

Jedná se o hloubený tunel dvouploštné konstrukce. Ta se skládá z falešného primárního ostění, mezilehlé izolace a definitivního ostění. Práce na tunelu byly zahájeny v září 2009, nejprve skrývkou ornice a poté zahájením výkopových prací. Hlavní výkopové práce skončily v 11/2009. Následně proběhla betonáž základových pasů pro tunelové ostění v období 11/2009–12/2009. Od 1/2010–6/2010 bylo vybudováno primární ostění. V dubnu 2010 byla provedena montáž tunelové formy ULMA a od května byly zahájeny práce na výstavbě definitivního ostění. Betonáž definitivního ostění byla zahájena v 6/2011 a dokončena v 11/2010. Poté probíhaly práce na vybavení tunelu, především betonáž pochozí stezky betonem C16/20 se zabudovaným multikanálem pro elektroinstalace a kontrolními šachtami multikanálu a drenáží.

Při výstavbě falešného primárního ostění jsou nejprve stavěny rámové nosníky BRETEX, na které jsou připevňovány KARI

the tunnel between the safety recesses. The portals are provided with a protecting structure formed by nets, fulfilling the function of a contact protection barrier.

DRAINAGE

The tunnel is throughout its length at a longitudinal gradient of 11.959 ‰, upwards in the direction of chainage from the entrance portal P1 toward the exit portal P2. Seepage of ground water into the construction trench was encountered during the tunnel construction. An auxiliary gravel drain, running along the footings on both tunnel sides at the distance of 0.5 m from the footing, was carried out with the aim of protecting the foundation base. The longitudinal gradient of the gravel drain is given by the tunnel gradient. The cross-section is a rectangle 0.4 x 0.2 m. At the portal P1 a DN 250 mm drainage pipeline is linked to the gravel drain. It is embedded in the infill concrete above the inverted arch; behind the portal it is connected to transverse collecting pipes interconnecting drainage manholes. A membrane waterproofing system is designed for the whole tunnel length. It is terminated at the base of side walls by longitudinal drains. The bottom is not provided with the waterproofing; contingent seepage through the bottom under the gravel ballast is collected by the central tunnel drain. Manholes are on the side bottom drains in safety recesses. The drainage lines are interrupted and drain shoes are inserted, providing the access to the pipelines. The manholes are covered with steel covers 1000 x 1000 x 5 mm. The side bottom drains are designed at a gradient identical with the tunnel longitudinal gradient. The gravel ballast drainage is provided by transverse slopes of 3 ‰ falling toward the central tunnel drain. The central tunnel drain with the diameter of 350 mm is designed on the longitudinal gradient, identical with the tunnel gradient. Its bottom is at the level of 1,600 mm under the top of rail. The central tunnel drain is formed by PE DN 350 mm, SN 8 kN/m² pressure-resistant pipes with partially perforated surface and smooth bottom, which is embedded in porous concrete in a ditch under the gravel ballast. The cast-in-situ concrete inspection manholes 500 x 500 mm are installed at intervals of 24 m, which are identical with the intervals of the safety recesses. The inspection manholes on the central tunnel drain are provided with concrete covers reinforced with steel mesh. Before the portals the side bottom drains and the central tunnel drain are connected to DN 500 mm plastic manholes. The manholes are covered with standard steel covers. The system of side bottom drains is not interconnected with the central tunnel drain.

CABLE DUCTS

Nine-way PE cable ducts were created in recesses in the walkways on both sides of the tunnel. The cable duct consists of nine casing pipes DN 110 mm, which are embedded in the concrete forming the raised walkway. The cable ducts are terminated in the area in front of portals in Carson plastic manholes with the dimensions of 800 x 1,690 x 1,220 mm (width x length x depth). The manholes are covered with standard steel covers. In the longitudinal direction, inspection and handling manholes 400 x 940 x 500 mm were created on the cable ducts in the walkways in front of each safety recess. They are covered with steel covers 1000 x 460 x 5 mm fitted in frames from steel angled profiles. PE casing pipes intended for power distribution and measurement of stray currents lead from the manholes.

PROTECTION AGAINST STRAY CURRENTS

The protection of tunnel structures is on principle designed as a passive system. The structures are protected against the surrounding ground environment by a waterproofing membrane, which is applied to the upper vault and side walls. Check measurement

Tab. 1 Přehled množství základních výměr na Tunelu Osek

Popis	m. j.	výměra
Výkop stavební jámy	m ³	52 519 000
Zásyp tunelu	m ³	29 416 160
Zajištění stav. jámy – stříkaný beton	m ³	924 700
Falešné primární ostění – výztuž	t	333 982
Falešné primární ostění – stříkaný beton	m ³	2 379 000
Izolace	m ²	7 766 832
Základové pasy – výztuž	t	74 030
Základové pasy – beton	m ³	1 013 240
Definitivní ostění – výztuž	t	300 973
Definitivní ostění – beton	m ³	3 570 200
Míra vyztužení – falešné primární ostění	kg/m ³	140 388
Míra vyztužení – základové pasy	kg/m ³	70 063
Míra vyztužení – definitivní ostění	kg/m ³	84 301

sítě a další výztuž. Poté je vnější strana pokryta B-systémem a z vnitřní strany je nanášen stříkaný beton. Po dorovnání vnitřní vrstvy je přichycována izolace. Jsou použity fólie JUNIFOL T tl. 2,2 mm od firmy JUTA, a. s., které jsou svařovány, aby spoje byly tlakotěsné. Poté byla zahájena montáž výztuže definitivního ostění sestávající se z rámových nosníků BRETEX, KARI sítě a ostatní výztuže. Jako bednění definitivního ostění je použita forma od firmy ULMA. Na železniční dvoukolejný tunel je tento systém použit v ČR vůbec poprvé. Konstrukce formy je sestavena z příhradových nosníků ALPI MECCANO, které se montují v italském Monguelfu. Konstrukce formy připomíná známou stavebnici Merkur, neboť z nosníků MECCANO lze také smontovat prakticky cokoli. Pro pojezd formy bylo nutné vybudovat dva samostatné základové pasy o příčných rozměrech 600x400 mm po celé délce tunelu. Na těchto pasech jsou přímo upevněny kolejničky, které jsou přesně geodeticky zaměřeny. Betonování je prováděno po 12metrových celcích s odstupem 4–5 dnů. Během nich je forma povolena z předchozího záběru, očištěna a posunuta na další záběr, kde je geodeticky srovnána do polohy a zabeďeno čelo. Vlastní betonáž jednoho dvanáctimetrového záběru trvá 9–10 hodin. Beton je ukládán rovnoměrně na obě strany po vrstvách



Obr. 5 Tunelová forma v pozici při přesunu
Fig. 5 Tunnel formwork during transfer

Table 1 Summary of basic quantities of work on the Osek tunnel

Description	m.u.	Quantity
Excavation of construction trench	m ³	52,519.000
Tunnel backfill	m ³	29,416.160
Stabilisation of construction trench – shotcrete	m ³	924.700
False primary lining – reinforcement	t	333.982
False primary lining – shotcrete	m ³	2,379.000
Waterproofing	m ²	7,766.832
Footings – reinforcement	t	74.030
Footings – concrete	m ³	1,013.240
Final lining – reinforcement	t	300.973
Final lining – concrete	m ³	3,570.200
Reinforcement ratio – primary lining	kg/m ³	140.388
Reinforcement ratio – footings	kg/m ³	70.063
Reinforcement ratio – final lining	kg/m ³	84.301

points are installed flush with the tunnel lining. The points are electrically bonded with the reinforcement of the lining.

CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND PROCEDURE

The tunnel is a cut-and-cover, two-shell structure. The structure consists of a false primary lining, intermediate waterproofing and final lining. The tunnel construction operations started in September 2009, first by stripping topsoil; then the earthwork started. The main excavation operations ended in November 2009. Subsequently, from November 2009 to December 2009, the concrete footings supporting the tunnel lining were cast. The concrete primary lining was installed from January 2010 to June 2010. The ULMA formwork was assembled in April 2010 and the work on the construction of the final lining started in May 2010. Casting of the concrete final lining commenced in June 2010 and was completed in November 2010. Then the work on the tunnel equipment took place, first of all casting of the C16/20 concrete walkway with the multi-way duct for electrical installations and inspection manholes on the multi-way duct and the drains.

Erecting BRETEX frames was the first operation during the construction of the false primary lining. KARI welded mesh and other reinforcing bars were fixed to the frames. Then the outer side of the frames was covered with B-System steel fabric and shotcrete was applied from the inner side. The waterproofing membrane was attached after trimming of the inner layer. JUTA a. s. product, 2.5 mm thick JUNIFOL T membrane, was used. Membrane mats were welded together using pressure tight seams. Then the installation of the final lining reinforcement started. It



Obr. 6 Vnitřek tunelu po dokončení návozu šterkového lože
Fig. 6 Tunnel interior after the completion of placing the gravel ballast



Obr. 7 Provádění zásypů v oblasti berounského portálu
Fig. 7 Backfilling in the area of the Beroun portal

cca 1 m. Mezi vrstvami je časový odstup cca 50 min, aby došlo k zatuhnutí spodních vrstev a tím k vyvíjení menšího bočního tlaku na tunelovou formu. Tunel byl průběžně zasypáván a je nakonec přesypán do výšky cca 1,1 m. Práce na tunelu byly dokončeny v květnu 2011. Provizorní provoz na trati byl zahájen od 22. června 2011.

ZÁVĚR

Realizace tunelu Osek je v mnoha ohledech zajímavou ukázkou skloubení technologie výstavby a technického řešení. Tunel byl zcela netradičně řešen dvouplášťovou konstrukcí jako u ražených tunelů, přestože chybělo horninové nadloží. To přineslo výhodu ochrany falešným primárním ostěním před nepřízní počasí a při úsporách výkopu stavební jámy, ale zato kladlo zvýšené nároky na betonáž definitivního ostění v omezeném prostoru. Nevýhodou této technologie byl problém zajištění armování v hloubené stavební jámě do požadovaného tvaru. V délce 300 m na celý tunel byla tato technologie falešného primárního ostění u nás použita poprvé. Vzhledem ke skutečnosti, že se falešné primární ostění začalo realizovat již v zimním období a před zahájením betonáže definitivního ostění bylo již hotovo, lze konstatovat, že provádění definitivního ostění nebylo časově ovlivněno a bylo spíše výhodou proti klimatickým podmínkám. Dále se musel realizační tým vypořádat s tunelovou formou, která byla při výstavbě dvoukolejného železničního tunelu nasazena vůbec poprvé. To se nakonec podařilo a i přes větší pracnost při betonáži bylo dosaženo dobrého výsledku. K tomu bylo nutné zajistit zvýšené požadavky na bezpečnost práce. Vzhledem k těmto okolnostem si realizace vyžádala nároky na spolupráci mezi realizačním týmem, investorem a projektantem. Díky této symbióze bylo dílo v termínu úspěšně dokončeno.

ING. IVAN BENOVIČ, ivan.benovic@hochtief.cz,
ING. KAREL VESELÝ, karel.vesely@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ, a. s., divize Dopravní stavby

Recenzoval: Ing. Vladimír Prajzler

consisted of BRETEX lattice girders, KARI mesh and other reinforcement elements. Formwork manufactured by ULMA was used for the final lining construction. This was the first case in the CR of using this formwork for a double-track railway tunnel. The formwork structure consists of ALPI MECCANO lattice beams, which are assembled in Monguelfo, Italy. The formwork structure is reminiscent of Merkur construction set because it is also possible to assemble virtually everything using MECCANO beams. Two separate concrete plinths throughout the tunnel length, with cross-sectional dimensions of 600 x 400 mm, were necessary to allow the formwork to move. Rails are directly fixed to these plinths and precisely surveyed by surveyors. The concrete blocks are 12 m long with 4-5 days' breaks between the casting events. During the break the formwork in the preceding location is collapsed, cleaned and moved to the next block where it is set in position by surveyors and the stop ends are installed. Casting of one 12 m long block takes 9-10 hours. Concrete is cast evenly on both sides with about 1 m casting lifts, at a time lag of about 50 minutes allowing the lower layer to set, thus to induce smaller side pressure on the tunnel form. The tunnel was being continually backfilled and finally a 1.1 m high hump was added over the terrain surface. The work on the tunnel was finished in May 2011. Temporary traffic operation on the track commenced on 22 June 2011.

CONCLUSION

The Osek tunnel construction is, in many respects, an interesting example of reconciliation of construction technology and technical solution. The tunnel was totally untraditionally designed as a two-shell structure, similarly to mined tunnels, despite the fact that there was rock cover there. The benefit of this solution was the protection against adverse weather provided by the false primary lining and savings in the volume of the construction trench excavation; on the other hand, it put increased demands on casting of the final lining in the restricted space. Disadvantage of this technology lied in the problem of meeting requirements for the accuracy of shape when installing the reinforcement in the construction trench. As far as the tunnel length of 300 m is concerned, this was the first use in the Czech Republic that the false primary lining technique was applied to the whole structure. Taking into consideration the fact that the work on the false primary lining started as early as the winter season and had been completed before the commencement of casting of the final lining, it is possible to state that it did not influence the work on the final lining in terms of time and that it was rather an advantage in terms of climatic conditions. In addition, the construction team had to cope with handling the tunnel formwork, which was applied to a construction of a double-track rail tunnel for the first time. This problem was eventually successfully managed; good results were achieved despite increased labour consumption during casting. Apart from this, it was necessary to meet increased requirements regarding safety at work. With respect to these circumstances, the construction placed demands on the collaboration between the construction team, the project owner and the designer. Owing to this symbiosis, the works were successfully completed on time.

ING. IVAN BENOVIČ, ivan.benovic@hochtief.cz,
ING. KAREL VESELÝ, karel.vesely@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ, a. s., divize Dopravní stavby

LITERATURA / REFERENCES

Dokumentace stavby *Optimalizace trati Beroun – Zbiroh – Tunel Osek*. Technická zpráva, Metroprojekt Praha, a. s., 2006

DVA ZEMINOVÉ ŠTÍTY PRO PRODLOUŽENÍ TRASY A PRAŽSKÉHO METRA

TWO EARTH PRESSURE BALANCED SHIELDS FOR METRO LINE A EXTENSION OF PRAGUE METRO

KARIN BÄPPLER

ÚVOD

Praha je hlavní a také největší město České republiky. Část systému veřejné dopravy je představována pražským metrem. Současná podzemní síť veřejné dopravy se skládá ze tří tras o délce kolem 60 km, procházejících většinou v podzemí, na kterých je celkem 57 stanic. V současnosti se jedná o trasu A, vedoucí od východu na západ ze stanice *Depo Hostivař* do stanice *Dejvická*, trasu B, procházející od východu na západ ze stanice *Černý most* do stanice *Zličín*, a trasu C vedoucí od severu na jih ze stanice *Letňany* do stanice *Háje*. Metro je nejrychlejší systém dopravy po městě. Denně obslouží kolem jednoho a půl milionu cestujících, takže je jedním z nejvíce vytížených systémů metra v Evropě.

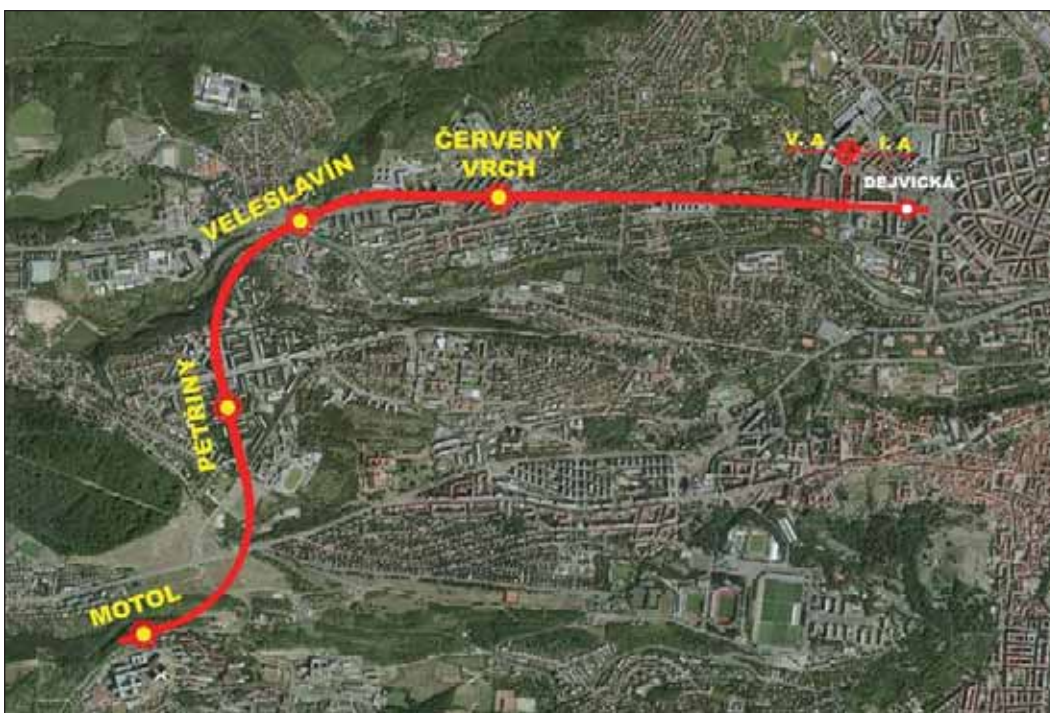
Systém tras pražského metra je navržen jako trojúhelník, ve kterém se všechny tři trasy setkávají ve středu města, ve třech přestupních stanicích. Traťové tunely jsou většinou vystrojeny skládaným ostěním. Na počátku výstavby metra v šedesátých letech, kdy se razilo pomocí otevřených ruských štítů, se používalo litinové ostění. Později byly litinové dílce kompletně nahrazeny dílci betonovými. V osmdesátých letech minulého století razily část trasy A pod Vltavou dva plnoprofilové tunelovací stroje (mechanizované štíty), s použitím ostění z lisovaného betonu (presbetonu).

INTRODUCTION

Prague is the capital and also largest city of the Czech Republic. Part of the public transportation system is characterized by the Prague Metro. The underground public transportation network comprises currently three lines of about 60km of tracks running mostly underground and comprising 57 stations. The current lines are Line A, running east to west from *Depo Hostivař* to *Dejvická*, Line B, running east to west from *Černý most* to *Zličín* and Line C running from north to south from *Letňany* to *Háje*. The metro is the fastest transportation system around the city. It serves about one and a half million passengers a day and is thus one of the busiest metro systems in Europe.

The Prague Metro system is designed as a triangle, with all three lines meeting in the center of the city at three interchange stations. The running tunnels are mostly built by segmental lining. At the start of metro construction in the sixties with Russian made open tunnelling shields, the cast iron lining was used. Later the concrete segments replaced the cast iron completely. In the eighties of the last century two TBMs with extruded concrete lining bored part of the Metro line A under the Vltava River.

The project to focus on in this publication is the metro extension of Line A, which will be constructed between station *Dejvická* via *Červený vrch*, *Veveřslavín*, *Petřiny* and all the way out to *Motol* (Fig.1). The extension of Metro Line A was set as a priority by the municipal government in the development of the metro network, with exclusive rights to finances obtainable from European funds. An advantage of Line A extension will be to ease the situation on Victoria square by cutting the number of buses by up to fifty percent with a positive environmental impact and furthermore to improve the traffic situation in the north western part of Prague. The southwest part of the city will get new traffic connections. The next step will then be the northwestern extension of Line A towards *Ruzyně Airport*.



Obr. 1 Celková situace prodloužení trasy metra A
Fig. 1 Overview tunnel route of Metro Line A extension

Stavba, na kterou se tento článek zaměřuje, je prodloužení trasy metra A, které se bude budovat ze stanice Dejvická, přes stanice Červený vrch, Veleslavín a Petřiny, až do stanice Motol (obr. 1). Prodloužení trasy metra A bylo stanoveno jako prioritou místní správy v oblasti rozvoje sítě metra, s výhradními právy na finance, které je možno získat z evropských fondů. Přínosem prodloužení trasy A bude to, že uleví situaci na Vítězném náměstí snížením počtu autobusů až na 50 procent s příznivým dopadem na životní prostředí a zlepšením dopravní situace v severozápadní části Prahy. V jihozápadní části města vzniknou nová dopravní spojení. Dalším krokem bude poté prodloužení trasy A na severozápad, směrem k letišti Ruzyně.

POPIS PROJEKTU

Zakázku na vybudování prodloužení trasy A metra ze stanice Dejvická do Motola získaly společnosti Metrostav a Hochtief CZ. Budou vybudovány tři nové mezilehlé stanice na Červeném vrchu, Veleslavíně a Petřinách. Nová trasa metra bude obsluhovat největší rezidenční oblast Prahy 6 a zajistí kvalitní dopravní služby pro největší nemocniční komplex v Praze.

Konfigurace terénu a vysoký stupeň urbanizace ovlivnily volbu metody budování tunelů pro plánovanou trasu. Téměř pro celý rozsah stavby je použita technologie ražených tunelů. Celkem 5,7 km ražeb dvoutrubních jednokolejných traťových tunelů od Vítězného náměstí do Motola bude provedeno a opatřeno ostěním pomocí dvou zeminových štítů Herrenknecht o průměru 6,1 m. Tři nové stanice metra (Červený vrch, Veleslavín a Petřiny) se budou razit, zatímco stanice Motol se bude budovat v otevřené jámě. Zemní práce pro ražený tunel byly zahájeny v dubnu 2011.

ZEMINOVÉ ŠTÍTY (EPBS)

Zeminové štíty byly navrženy tak, aby vyhovovaly převládajícím geologickým poměrům, předpokládaným podél navrhované trasy tunelů. Geologie je hlavně charakterizována různými typy jílovitých břidlic a produkty jejich zvětvování. Kromě jílovitých břidlic se očekává výskyt většího množství pískovců, prachovců a jílovců a různých typů zemin (hlavně jílovitého charakteru). Podél trasy tunelu se očekávají jak stabilní, tak nestabilní podmínky čelby, ale i podmínky smíšené čelby.

Zeminové štíty (obr. 2) pro pražské metro jsou vybaveny hydraulickým hlavním pohonem s celkovým výkonem 1200 kilowatt. Při ražbě vyvine 32 přítláčných válců jmenovitý přítlak asi 39000 kN. Řezná hlava se může otáčet oběma směry. Je navržena s poměrem otvorů 30 % a je osazena 38 17palcovými valivými dláty osazenými ve vzdálenostech 100 mm, 64 rozrývacími noži, 8 shrnovači. Pro zahájení ražeb budou na řezných hlavách instalovány rozrývací nože. Pro detekci opotřebení řezných nástrojů do měkkých hornin a shrnovačů jsou instalovány dva hydraulické senzory.

Během ražeb štíty v nestabilních horninách se vytváří tlak zajišťující čelo výrubu, který působí proti jakékoli ztrátě stability čela výrubu. U zeminového štítu se k zajištění čela výrubu používá zemina rozpojená řeznou hlavou. Během plnoprofilové ražby je odtěžovací komora neustále zcela zaplněna, čímž se brání sedání povrchu. Aby se dosáhlo stavu rovnováhy, tlak zajišťující čelo výrubu je přenášen z hydraulických přítláčných válců na upravenou rozpojenou zeminu přes tlakovou přepážku štítu. Vnitřní stator a rotory promíchávají zeminovou směs, do které se přitom může tryskami injektovat pěna, aby se zajistilo udržení potřebné konzistence. Na řezné hlavě jsou celkem instalovány 4 jednotky generující pěnu a 4 linie pro pěnu v odtěžovací komoře. Do šnekového dopravníku se pěna přivádí

PROJECT OVERVIEW

The companies Metrostav and Hochtief CZ have been commissioned to build the about 5.7km long extension of Metro Line A starting at Dejvická to Motol. Three new intermediate stations will be built at Červený Vrch, Veleslavín and Petřiny. The new metro line will serve the large residential area of Prague 6 to provide a quality transport service for the biggest hospital complex in Prague.

The morphology of the terrain and the high degree of urbanization affected the choice of tunnelling method for the planned alignment. For almost the entire extent of the project bored tunnelling technology is applied. The 5.7km will be excavated and lined by using two 6.1m-diameter EBP Shields from Herrenknecht for the twin tube single track metro line from Victoria Square to Motol. Three of the new Metro Stations (Červený Vrch, Veleslavín and Petřiny) will be mined while Motol station will be excavated from the surface. The excavation of the first EPB Shield started in April 2011.

EPB SHIELDS

The EPB Shields (Fig.2) have been designed to suit the prevailing geological conditions which have been predicted along the designed tunnel alignment. The geology is mainly characterized by clayey shale rock types and their weathering products. Besides the clay shale, a greater amount of sandstone, siltstone and claystone as of different soil types (mostly of clayey character) are expected. Along the tunnel alignment both, stable and unstable tunnel face conditions as well as mixed face conditions are predicted.

The EPB Shields for Metro Prague are equipped with a hydraulic main drive powered with in total 1,200 kilowatt. When tunnelling, 32 thrust cylinders apply a nominal thrust force of about 39,000kN. The cutting wheel is equipped for both directions of rotation. It is designed with an opening ratio of 30% and fitted with 38 17-inch disc cutters of 100mm spacing, 64 cutting knives and 8 buckets. The cutter heads will be fitted with ripper tools for the start of boring. Two hydraulic wear detection units are installed for the soft ground tools and buckets.

During shield drives in unstable ground, face support pressure is generated to counteract any loss of stability at the tunnel face. On an Earth Pressure Balance Shield, the soil excavated by the cutting wheel is used to support the tunnel face. During advance in full mode, the excavation chamber is permanently completely filled, preventing settlement on the surface. To achieve a state of balance, the face support pressure is transmitted from the hydraulic thrust cylinders to the conditioned, loose soil through the bulkhead. The internal stators and rotors cut through the soil mixture, while foam can be injected via nozzles to ensure that the required consistency is maintained. There are in total 4 foam units installed in the cutting wheel, 4 stators for foam in the excavation chamber and 2x3 foam injection points at the screw conveyor. The screw conveyor removes the treated soil from the invert area of the excavation chamber and hands it over to a conveyor belt. The speed of rotation of the screw conveyor regulates the volume of soil removed from the excavation chamber and adjusts it to the advance speed. The aim is to keep a balance between the volume of soil removed by the screw conveyor and the volume of soil being produced by the advance of the EPB Shield. This makes it possible to ensure optimal support of the tunnel face.

The machines which were designed for the extension of Metro Line A in Prague have a total length of 96m. The 87 meter long back-up comprises seven trailers and a bridge



Obr. 2 Smontovaný zeminový štít o průměru 6,1 m pro prodloužení trasy A pražského metra v dílnách firmy Herrenknecht AS v Německu

Fig. 2 Assembled 6.1m diameter EPB Shield for Prague Metro Line A extension at the Herrenknecht AG workshop in Germany

2x3 injekčními body. Šnekový dopravník odebírá upravenou zeminu z oblasti dna odtěžovací komory a předává ji na pásový dopravník. Rychlostí otáčení šnekového dopravníku se reguluje objem zeminy odebrané z odtěžovací komory. Rychlost odběru se přizpůsobuje rychlosti postupu ražby. Cílem je udržování rovnováhy mezi objemem zeminy odtěžené šnekovým dopravníkem a objemem zeminy vznikající při postupu ražby zeminovým štítem. Tím je umožněno optimální zajištění čela výrubu.

Stroje, které byly navrženy pro prodloužení trasy A pražského metra, mají celkovou délku 96 m. Závěs o délce 87 metrů se skládá ze sedmi plošin a mostní konstrukce. Je na něm veškeré logistické vybavení potřebné pro práci celého systému.

Rozhodující informace obsahující všechny relevantní parametry ražby se předávají do centrální řídicí kabiny, kde se pro obsluhu štítu vizualizují na obrazovkách. Obsluha monitoruje do velké míry automatizované procesy a provádí korekce, pokud jsou zapotřebí. To je důležité zvláště v dané zastavěné oblasti Prahy, kde ražba vyžaduje postup s řízeným sedáním.

Aby se vyrovnaly s problémy ražby v omezených podmínkách, jsou zeminové štíty vybaveny:

- hydraulickým systémem detekce opotřebení, zajišťujícím efektivní proces ražby a bránícím poškození řezných nástrojů a ocelové konstrukce řezné hlavy,
- rozsáhlým systémem sběru dat, který poskytuje průběžné informace o zajištění čela výrubu a mnoha dalších parametrech stroje důležitých pro řízení procesu ražby.

Požadavek na řízení sedání během ražeb hrál důležitou roli při tvorbě koncepce štítů. Z tohoto důvodu byl instalován řídicí systém, který zaznamenává a analyzuje data vztahující se k sedání, jako jsou například opěrný tlak a vyplňování prstenčového prostoru za ostěním injektáží. Zaznamenané hodnoty se

construction. It houses all the logistics equipment needed to operate the entire system.

The key information consisting of all relevant tunnelling parameters is fed into the central control cabin where it is visualized on screens for the TBM operator. The operator monitors the largely automated processes and takes corrective action when needed. This is important especially in the urban area of Prague where tunnelling demands for a settlement controlled tunnelling process.

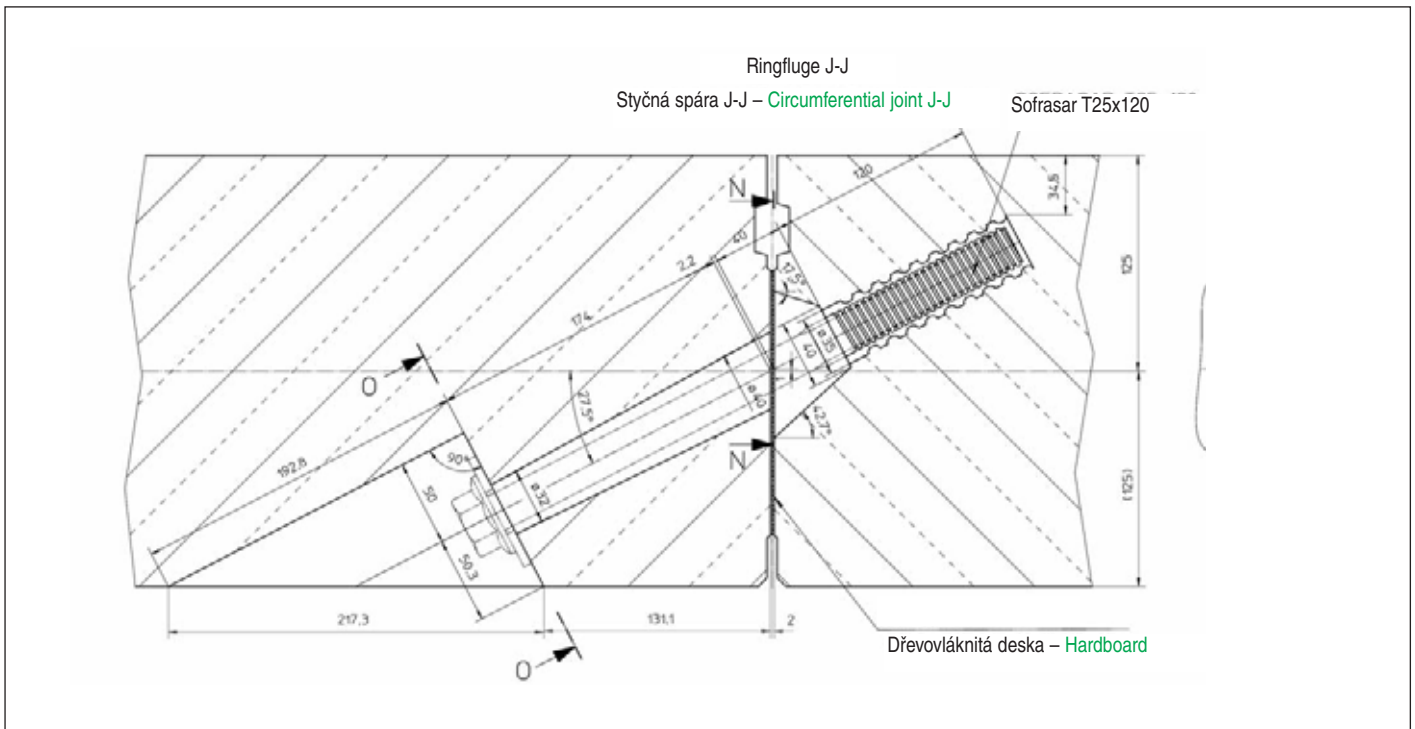
To meet the challenges of tunnelling in constraint areas, the EPB Shields are equipped with:

- A hydraulic wear detection system for an efficient excavation process and to avoid damage to the tools and the steel structure of the cutting wheel
- An extensive data acquisition system that gives continuously information about the support of the tunnel face and many further machine parameters essential for a controlled excavation process.

The demand of a settlement controlled operation played an important role during the conception of the TBMs, therefore, a control system was installed that records and analyzes settlement relevant data such as for example the support pressure and annular gap backfilling. The recorded values will be compared with reference and tolerance data defined by the operating authority. With this safety system, the so called Controlled Boring Process (CBP), frequently changing geological and hydrological conditions with low overburden can be technically mastered. The CBP aims to combine around-the-clock information on settlement or heave measured above the tunnel route with all relevant operational data of the TBM in order to facilitate the development of even more sensitive tunnelling strategies and, in terms of risk avoidance, to continuously optimize the tunnel excavation. First in a kind of tunnel excavation record, data of the tunnel route, for example with regard to settlement measurements conducted above ground and geology, are related to essential operational data of the TBM. Based on this, target values and tolerances for operational parameters of the TBM relevant to the settlement can be established. These values and tolerances are defined by the shift engineer for the machine operator and are visualized on the individual machine data displays in the control cabin. They can be adjusted to respond to current measuring results at all times if necessary. Furthermore, all specific parameters are recorded during the entire excavation to enable a comprehensive analysis of the tunnelling performance with regard to the control of settlement.

In case of instable tunnel face conditions the EPB Shields are equipped with injection drillings for ground stabilization measures in the tunnel crown and tunnel face area. Via 8 inclined injection lines of a nominal diameter of 100mm it is possible to perform crown injections with an angle of 14° and two horizontal drill pipes enable injections into the tunnel face. The installed drill rig will be also used for probing ahead of the face in some cases, one of them might be the area around Červený vrch, where the tunnel alignment crosses the former mining fields (iron ore, mining started in 1860).

In order to keep settlements controlled an effective annular gap backfilling system is required. The EPB Shields are designed with a two component annular gap backfilling system comprising 4 injection lines. Characteristic for the two component backfill material is an early strength development which is advantageous in order to stabilize the bond between the excavated surface and the tunnel lining. By this, displacements of the rings when they are stressed, for example, by back-up loads can be prevented. The two component grouts are generally



Obr. 3 Příčný řez s detaily spáry se spojovacími šrouby a těsnícím páskem
Fig. 3 Cross section of joint details with bolting and gasket

porovnávají s referenčními daty a tolerancemi stanovenými projektantem. Při tomto systému bezpečnosti se dá technicky zvládnout takzvaný proces řízené ražby (PŘR), při kterém se často mění geologické a hydrologické podmínky ražby s nízkým nadložím. Proces PŘR má za cíl kombinování za celý den shromážděných informací o sedání nebo zdvihání zjištěných nad trasou tunelu s relevantními provozními údaji štítu, aby se ulehčilo vytváření stále citlivějších strategií ražby, a co se týče vyhýbání se rizikům, aby se ražba tunelu průběžně optimalizovala. Na prvním místě mezi záznamy o ražbě tunelu jsou hlavní provozní data štítu vztahující se k trase tunelu, například měření sedání povrchu a údaje o geologii. Na základě těchto údajů se mohou stanovit cílové hodnoty a tolerance provozních parametrů štítů relevantní k sedání. Tyto hodnoty a tolerance stanoví pro obsluhu stroje směnový stavbyvedoucí. Jsou zobrazeny na jednotlivých obrazovkách s údaji o stroji v řídicí kabině. Je-li to zapotřebí, mohou se upřesnit tak, aby odpovídaly aktuálním výsledkům měření získaným v kterémkoli okamžiku. Dále se všechny specifické parametry během celé ražby zaznamenávají tak, aby bylo možné uskutečnění komplexní analýzy provádění ražeb s ohledem na řízení sedání.

Pro případ nestabilní čelby jsou zemínové štíty vybaveny zařízením na injektážní vrty do stropu tunelu a do oblasti čela výrubu, prováděné jako stabilizační opatření. Injektážní vrty do stropu jsou možné osmi šikmými průchodkami ve štítu s jmenovitým průměrem 100 mm ve sklonu 14° a dvěma vodorovnými průchodkami umožňujícími injektáž do čela výrubu. Instalovaná vrtací souprava se bude v některých případech používat i na sondování před čelo výrubu; jedním z těchto případů by mohla být oblast kolem Červeného vrchu, kde trasa tunelu kříží bývalá důlní pole (železná ruda, dolování započalo v roce 1860).

Abyste poklesy udržely pod kontrolou, je potřebný účinný systém provádění výplňové injektáže do prstencového prostoru za ostěním. Zemínové štíty jsou navrženy se systémem používajícím dvousložkovou injektážní směs injektovanou na čtyřech místech. Pro tento dvousložkový injektážní materiál je charakteristický rychlý vývoj počáteční pevnosti, který je výhodný proto, aby se stabilizovalo spojení mezi lícem výrubu

composed of water, bentonite, cement, a stabilizer and a hardener. The use of two component grout provides greater flexibility in varying the ratio of the two components A and B. Component A can be described as a stabilized main component consisting of water, bentonite, cement and a stabilizer and component B as the activating component of the system consisting of a sodium silicate. When mixed, the two components react within a short time (within minutes) to a gel which begins to solidify afterwards. The setting time of the suspension can be varied and hence the extent to which the mix will penetrate the ground. The main advantage of the two component system are the quick stabilization of the ring due to a short time to reach sufficient strength and the working properties of the grout which are independent of idle times or advance speed and the pumpability over longer distances.



Obr. 4 Pokusný prstenec pro zkoušky rozměrů, smontovaný ve výrobě Herrenknecht Formwork

Fig. 4 Trial ring for dimensional checks erected at the Herrenknecht Formwork workshop

a tunelovým ostěním. Tím se zabráňuje posunutí segmentových prstenců zatížených například zavěšením zadních částí štítu. Dvousložkové injektážní směsi se obvykle skládají z vody, bentonitu, cementu, stabilizační přísady a urychlovače tvrdnutí. Použití dvousložkové injektážní směsi zajišťuje větší flexibilitu při měnění poměru složek A a B. Složku A lze popsat jako stabilizovanou hlavní složku složenou z vody, bentonitu, cementu a stabilizační přísady, zatímco složka B působí jako aktivační složka systému složená z křemičitanu sodného. Po smíchání obě složky v krátké době (během několika minut) reagují a vzniká gel, který začne následně tuhnout. Doba tuhnutí suspenze, a tím i dosah, do kterého směs proniká do horniny, se může měnit. Hlavní výhodou dvousložkového systému je rychlá stabilizace prstence díky krátké době pro dosažení potřebné pevnosti a pracovním vlastnostem injektážní směsi, které nejsou závislé na prostojích nebo rychlosti postupu ražby a čerpatelnosti na delší vzdálenosti.

SEGMENTOVÉ TUNELOVÉ OSTĚNÍ

Tunelové ostění je z železobetonových dílců. Jeden prstenc je 1,5 m dlouhý a je složen z 5+1 dílců. Geometrický návrh dílců dodávaných výrobcem vysoce přesných forem (Herrenknecht Formwork) přihlíží ke všem zatížením, jako jsou tlak vody, zeminové poměry a všechny situace nastávající při výrobě, dopravě a montáži v tunelu. Na základě zkušeností projektantů takovýchto průměrů a v takových geologických podmínkách byl zvolen univerzální prstenc (oboustranně zkosený). Dílce jsou opatřeny etylenpropylendienovými (EPDM) těsnicími pásky (M385 69 Portland, PDT) a jsou při instalaci sešroubovávány v příčných i podélných spárách (obr. 3).

V ložných (radiálních) spárách jsou tvrdé dřevovláknité desky (překližka). Aby se ověřila správnost rozměrů dílců, a tedy i celého prstence, byly vyrobeny dílce pro celý pokusný prstenc, který byl smontován a změřen ve výrobně dílců.

Dílce pro pražské metro vyrábí společnost Doprastav v Senci. S přihlédnutím k požadavkům výrobce prefabrikátů byla jako přijatelné řešení vybrána stabilní výrobní (obr. 5). Přinejmenším dvakrát za den bude zabetonováno devět sad forem (54 forem). Aby se dosáhlo vysoké zpracovatelnosti a trvanlivosti betonu dílců, výrobce dílců provedl laboratorní zkoušky a provedl několik zkušebních betonáží.

Tyto prefabrikované železobetonové dílce se dopravují do tunelu na vozících. Na předním konci vozu se dílce jednotlivě zdvíhají speciálním překládacím jeřábem a jsou ukládány do podavače dílců, který dopraví dílce dopředu na čelbu. Tam jsou dílce vyzdvíženy vakuovými deskami na erektor – hydraulicky ovládané jeřábové rameno – a přesunuty na místo uložení.

ZÁVĚR

Stroje byly smontovány v továrně v Německu, kde se hlavní součásti vyzkoušely a poté byly dopraveny do Prahy. První zeminový štít zahájil ražbu v dubnu 2011.

Po dokončení ražeb a provedení ostění obou souběžných jednokolejných tunelových trub se tunelovací stroje protáhnou zpět dokončeným tunelem.

Tato stavba je klíčová pro řešení takových problémů, jako jsou nevyhovující situace v přepravních službách v jihozápadním sektoru Prahy a potřeba vytvořit rezervy přepravní kapacity na přetížené trase metra C. Trasa bude uvedena do provozu v roce 2014 a poté by měla být prodloužena až na letiště Ruzyně.

DR. KARIN BÄPPLER, baepler.karin@herrenknecht.de,
HERRENKNECHT AG

Recenzoval: doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.



Obr. 5 Velmi přesná forma dodaná společností Herrenknecht Formwork
Fig. 5 High-precision mould supplied by Herrenknecht Formwork

SEGMENTAL TUNNEL LINING

The tunnel is lined by reinforced concrete segments. One tunnel ring is composed of 5+1 segments and has a length of 1.5m. The geometrical design of the segments, supplied by the manufacturer of the high-precision moulds (Herrenknecht Formwork), considers all loads as water pressure, soil conditions and all situations of producing, transporting and erecting in the tunnel. According to the designers experience for such diameters and ground conditions a Universal-Ring (both side tapered) was chosen. The segments are equipped with EPDM-gaskets (M385 69 Portland, PDT) and will be bolted during installation in the circumferential and longitudinal joints (Fig.3).

The radial joints are equipped with hardboards (ply wood). To proof the right dimensions of the segments and hence the complete ring, a trial ring was casted, erected and measured in the manufacturers workshop (Fig.4).

The segments for the Metro Prague are manufactured in Senec by the company Doprastav. Considering the prefabricator's requirements a stationary production was the preferable solution (Fig.5). The nine sets of moulds (54 moulds) will be cast at least two times a day. To gain a high workability and durability of the segment concrete the Precaster run tests in the lab and did several trial casts.

These prefabricated reinforced concrete elements are taken into the tunnel on carriages. At the front end of the carriage, the segments are individually raised by a special transfer crane and placed on the segment feeder, which brings the segments to the front area of the tunnel. Here, the segments are lifted by vacuum plates on the erector – a hydraulically controlled crane arm – and moved into place.

CONCLUSION

The machines were assembled in the factory in Germany where the main components were tested and then transported to Prague. Tunnelling of the first EPB Shield started in April 2011.

After accomplishing the excavation and lining of the two parallel single-track tunnel tubes, the TBMs will be recovered backwards through the tunnel.

This project is a key for the resolution of problems such as the unsatisfactory transit service situation in the southwest sector of Prague and the need to create transit capacity reserves in overloaded Metro Line C. The line will be open in 2014, and afterwards it will be extended to Ruzyně Airport.

DR. KARIN BÄPPLER, baepler.karin@herrenknecht.de,
HERRENKNECHT AG

POSOUZENÍ DŮLNÍ OCELOVÉ LICHOBĚŽNÍKOVÉ VÝZTUŽE PODLE ČSN EN 1993-1-1 EUROKÓD 3

ASSESSMENT OF STEEL COLLIERY SUPPORT FOR TRAPEZOIDAL FRAME ACCORDING TO ČSN EN 1993-1-1 EUROCODE 3

JAKUB DOLEJŠ, MICHAL SEDLÁČEK

1 ÚVOD

V lednu 2009 přestala platit předběžná evropská ocelářská norma ČSN P ENV 1993-1-1 a v dubnu 2010 byla ukončena platnost souběžné platné české ocelářské normy ČSN 73 1401. Od té doby je nutné při návrhu ocelových konstrukcí postupovat podle jediné platné normy ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby [1] (dále jen norma). Požadavky uvedené v normě se vztahují i na ocelové konstrukce používané v podzemním stavitelství, jako jsou například válcované profily důlní výztuže.

2 OCELOVÁ DŮLNÍ VÝZTUŽ

Válcované profily důlní ocelové výztuže jsou dnes používány především při ražbě štol a při hloubení jam, stavebních šachet a šachtic. Hlavní výhodou ocelové důlní výztuže je schopnost přenášet zatížení ihned po instalaci, na rozdíl od příhradové výztuže typu Bretex, kterou je nutné doplnit stříkaným betonem, čímž vzniká určitá časová prodleva mezi instalací výztuže a schopností staticky působit. Další výhodou je značná tvarová variabilita příčného řezu, mezi základní tvary patří podle [8]:

- LA ... lichoběžníkový průřez se sklonem bočních stran 1:4
- LB ... lichoběžníkový průřez se sklonem bočních stran 1:6
- KC ... kruhový průřez
- OO ... obloukový průřez s bočními stranami průběžně zaoblenými
- OR ... obloukový průřez s rovnými konci rovných dílů

V ČR se používají především tzv. korýtkové profily (značí se písmenem K) a profily typu Toussaint-Heintzmann (značí se písmenem TH), které vyrábí Acelor Mittal Ostrava, a. s.

Za tímto značením následuje číslice, která udává zaokrouhlenou hmotnost profilu v kg na 1 běžný metr (přesná hmotnost jednoho metru profilu K21 je 20,74 kg a profilu TH21 je 20,92 kg).

Pro výrobu nejčastěji používaného profilu K21 se používá ocel značky 11 500.0, jejíž mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v [6]. Tato ocel má mez kluzu 295 MPa a pevnost v tahu $470 \div 610$ MPa. Pro výrobu profilu TH21 se používá ocel značky 31 Mn 4, jejíž mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v [7]. Tato ocel má mez kluzu 350 MPa a minimální pevnost v tahu 550 MPa (tab. 1).

3 NÁVRH A POSOUZENÍ OCELOVÉ DŮLNÍ VÝZTUŽE

Ocelová důlní výztuž se spojuje do ráků, které jsou většinou kolmé na osu díla. Při návrhu příčného řezu díla je vhodné vycházet z geometrického tvaru ráků, který je obvykle předepisován, viz např. [8]. Při posouzení rákové konstrukce výztuže je nutné podle [1] provést následující kroky:

1. klasifikace průřezu
2. klasifikace soustavy

1 INTRODUCTION

In January 2009, the preliminary European steel-related standard ČSN P ENV 1993-1-1 became invalid and, in April 2010, the validity of the parallel Czech standard ČSN 73 1401 was terminated. Since then it has been necessary when designing steel structures to proceed according to the only valid standard ČSN EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for building [1] (hereinafter referred to as the standard). The requirements contained in the standard even relate to steel structures used in the underground construction industry, e.g. support frames from rolled steel sections.

2 STEEL COLLIERY SUPPORT FRAMES

Rolled profiles for steel colliery supports are today used first of all during the excavation of adits, construction pits, construction shafts and manholes. The main advantage of steel colliery support is its ability to carry loads immediately after installation, in contrast with Bretex-type lattice girders, which must be complemented by shotcrete, owing to which fact the ability to take loads lags behind the moment of the support installation. Another advantage is the significant variability of the cross-section; according to [8], there are the following basic geometries:

- LA ... trapezoidal cross section with the sides inclining at 1:4
- LB ... trapezoidal cross section with the sides inclining at 1:6
- KC ... circular cross section
- OO ... vaulted cross section with continuously rounded sides
- OR ... vaulted cross section with straight ends of straight parts

Trough sections (marked by letter K) and Toussaint-Heintzmann profiles (marked TH) produced by Acelor Mittal Ostrava a.s. are most frequently used in the Czech Republic.

The above mark is followed by a figure stating the rounded weight of the profile in kg per 1 metre (the exact weight of one metre of K21 and TH profiles is 20.74 kg and 20.92 kg, respectively).

Steel grade 11 500.0, the mechanical properties and chemical composition of which are presented in [6], is used for the production of the most frequently used profile, K21. This steel has the yield strength of 295 MPa and the tensile strength of $470 \div 610$. Steel quality 31 MN 4 is used for the production of TH21 profiles. Its mechanical properties and chemical composition are presented in [7]. This steel has the yield strength of 350 MPa and the minimum tensile strength of 550 MPa (Table 1).

3 DESIGN AND ASSESSMENT OF STEEL COLLIERY SUPPORT FRAMES

Elements of steel colliery support frames are joined together to form frames, which are mostly perpendicular to the tunnel centre line. When a cross-section of the tunnel is being designed, it is reasonable to start from the geometrical shape of the frames, which is usually prescribed, see e.g. [8]. The following steps have to be

3. zavedení počátečních imperfekcí
4. volba typu stabilního výpočetního postupu
5. provedení globální analýzy (výpočtu vnitřních sil)
6. posouzení v mezním stavu únosnosti – stabilitní posouzení pro ohyb a osový tlak (interakční podmínky)
7. posouzení spoje, tzn. odpor výztuže proti prokluzu
8. posouzení v mezním stavu použitelnosti

3.1 Klasifikace průřezu

Norma [1] (dále jen norma) umožňuje provedení plastické globální analýzy, tedy výpočtu vnitřních sil za předpokladu vzniku plastických kloubů na prutové konstrukci. Plastická globální analýza obvykle vede k hospodárnějšímu návrhu, ovšem může být provedena jen při splnění normou udaných podmínek (odst. 5.6 normy).

Jedná se zejména o dostatečnou rotační kapacitu průřezu v místě vytvoření plastického kloubu. Ta se ověřuje pomocí tzv. klasifikace průřezu, tedy přiřazení třídy průřezu. Jsou rozlišeny 4 třídy průřezu označované číslicemi 1–4 (tabulka 5.2 normy), přičemž plastickou globální analýzu umožňují jen průřezy třídy 1.

Klasifikace se provádí na základě:

- tvaru průřezu (zejména poměru tloušťky a šířky jednotlivých částí průřezu),
- rozdělení napětí po průřezu (ohyb, tlak, ohyb + tlak),
- maximálního dosaženého napětí (meze kluzu).

Zatřídění průřezu bude využito i později při posouzení průřezu a prutu.

3.2 Klasifikace soustavy

Na základě klasifikace průřezu se může uživatel rozhodnout buď pro plastickou globální analýzu, nebo pro pružnou. Pro rám tvořený prvky s průřezem třídy 1 je možná plastická varianta, pro ostatní pouze pružná.

Dále je nutné klasifikovat soustavu (rám) s ohledem na stabilitní chování. V přednormě [7] byly zavedeny výrazy „posuvné“, resp. „neposuvné“ styčníky, které výstižně popisovaly chování rámu při vybočení prutů v rovině. Norma [1] už tyto výrazy pro klasifikaci neužívá a zatřídění rámu se provádí na základě stabilního výpočtu. Ověřuje se podmínka

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ v případě pružné analýzy, a} \quad (3)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ v případě plastické analýzy, kde}$$

F_{cr} je kritické zatížení pro celkové vybočení,

F_{Ed} je návrhové zatížení konstrukce.

Pokud je podmínka (3) splněna, postačí provedení globální analýzy 1. řádu s uvážením počáteční geometrie konstrukce. Pro

Tab. 1 Základní průřezové charakteristiky profilu K 21 pro pružný výpočet

	Označení	Jednotky	Hodnota
Materiál - mez kluzu	f_y	MPa	295
Hmotnost	G	kg/m	20,74
Plocha	A	mm ²	2 642
Moment setrvačnosti	I_y	mm ⁴	3 191 000
Vzdálenost horních vláken od těžiště	y_h	mm	51,89
Vzdálenost dolních vláken od těžiště	y_d	mm	52,11
Pružný průřezový modul horních vláken	$W_{h,y,el}$	mm ³	61 500
Pružný průřezový modul dolních vláken	$W_{d,y,el}$	mm ³	61 240
Statický moment plochy v těžišti	S_y	mm ³	42 130
Šířka profilu v místě řezu vodorovnou těžišťovou osou	t	mm	13,96

conducted according to [1] when assessing a supporting frame structure:

1. classification of the cross-section,
2. classification of the system,
3. introduction of initial imperfections,
4. selection of the type of the stability calculation procedure,
5. execution of a global analysis (calculations of inner forces),
6. assessment for the ultimate limit state – stability assessment for bending and axial pressure (interaction conditions),
7. assessment of the joint, i.e. the sliding resistance of frame elements,
8. assessment for the limit state of serviceability.

3.1 Cross-section classification

The standard [1] (hereinafter referred to as the Standard) allows the plastic global analysis, i.e. the calculation of inner forces under the assumption of the development of plastic hinges on a framed structure, to be carried out. A plastic global analysis usually leads to a more economic design, but it can be carried out only when the conditions set by the Standard are met (see paragraph 5.6 of the Standard).

Among them it is, first of all, the sufficient rotational capacity of the cross-section in the location where a plastic hinge developed. The capacity is verified by means of the so-called cross-section classification, which means assigning a class to a cross-section. Four classes are distinguished, using figures 1-4 (see Table 5.2 of the Standard), where the plastic global analysis is possible only for cross-section class 1.

The classification is conducted on the basis of:

- the cross-section geometry (first of all the proportion between the thickness and width of individual parts of the cross-section),
- distribution of stress on the cross-section (bending, compression, bending + compression),
- maximum stress achieved (yield strength).

The classification of a cross-section will be even used later for assessing a cross-section and a rod.

3.2 Classification of the framework

The user can decide on the basis of the classification of the cross-section whether the plastic global analysis or elastic analysis is to be used. The plastic variant is possible only for a frame consisting of elements with the cross-section class 1; the elastic variant is the only possible for the other elements.

Further it is necessary to classify the framework with respect to the stability behaviour. The pre-Standard [7] introduced terms “sliding” or non-sliding joints, which aptly described the behaviour of a frame in the case of in-plane buckling of rods. The Standard [1] no more

Table 1 Basic cross-sectional properties of a K21 profile for elastic calculation

	Symbol	Units	Value
Material – yield strength	f_y	MPa	295
Weight	G	kg/m	20.74
Cross-sectional area	A	mm ²	2,642
Moment of inertia	I_y	mm ⁴	3,191,000
Distance between the upper fibre and the centre of gravity	y_h	mm	51.89
Distance between the bottom fibre and the centre of gravity	y_d	mm	52.11
Elastic sectional modulus for upper fibre	$W_{h,y,el}$	mm ³	61,500
Elastic sectional modulus for bottom fibre	$W_{d,y,el}$	mm ³	61,240
Static moment of area at centre of gravity	S_y	mm ³	42,130
Profile width at the level of a horizontal axis passing through centre of gravity	t	mm	13.96

poměr kritického a návrhového zatížení mezi 3 a 10 norma umožňuje zjednodušený způsob zavedení účinků 2. řádu, pro poměr menší než 3 je nutno použít výpočet zohledňující přerozdělení vnitřních sil vlivem deformace rámu.

Stabilitní výpočet v obecném případě ovšem nelze provádět „ručně“, navíc ani neexistuje jeho obecný algoritmus. Většina softwarových programů nerozlišuje globální vlastní tvary vybočení, které jsou pro klasifikaci soustavy podstatné a tvary odpovídající tvaru vybočení lokálního prvku (např. sloupek zábradlí, diagonála ztužidla apod.), stabilitní výpočet je navíc nutno provést a vyhodnotit pro všechny stabilitní kombinace odděleně. Je ale možné opět použít konzervativní přístup, který bude podrobněji popsán v odstavci 3.4.

3.3 Zavedení počátečních imperfekcí

Zavedení počátečních imperfekcí (nepřesností) konstrukce úzce souvisí s volbou stabilitního výpočetního postupu popsaného v dalším odstavci. Norma rozlišuje imperfekce soustavy a imperfekce prutu. Imperfekce prutu (počáteční prohnutí) mohou být použity pro přímý výpočet vzpěru prutů, potom se tedy neuvažuje součinitel vzpěru. Imperfekce soustavy (počáteční naklonění) zohledňují počáteční naklonění celé soustavy (rámu).

Normou udávané hodnoty prutových imperfekcí zde nebudeme uvádět. Imperfekce soustavy jsou požadovány podle následujících vztahů:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (4)$$

kde ϕ_0 je základní hodnota $\phi_0 = 1/200$;

α_h redukční součinitel v závislosti na výšce sloupů h ;

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}, \text{ ale } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 ;$$

h výška konstrukce v metrech;

α_m redukční součinitel pro počet sloupů v řadě:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} ;$$

m počet sloupů v řadě. Počítají se pouze sloupy, jejichž svislé zatížení N_{Ed} není menší než 50 % průměrného zatížení sloupů v posuzované svislé rovině.

Oba druhy imperfekcí lze nahradit náhradním zatížením, které vyvodí podobné účinky. Na obr. 4 je naznačeno zavedení globálních počátečních imperfekcí pomocí vodorovných sil.

Pro některé typy pozemních staveb lze globální imperfekce zanedbat, pokud je konstrukce zatížena významným vodorovným zatížením. V případě důlní výztuže tato pravidla ovšem není možné použít.

3.4 Volba typu stabilitního výpočetního postupu

Do výpočtu konstrukce je nutno zahrnout vliv vzpěru a klopení, souhrnně označovaných jako účinky 2. řádu. Konstrukter může volit mezi několika způsoby výpočtu. Liší se obvykle přesností, hospodárností výsledného návrhu, pracností a požadavky na softwarové vybavení a také vhodností pro jednotlivé typy konstrukcí. V zásadě je možné postupovat třemi způsoby:

A. Imperfekce soustavy, vzpěr a klopení ručně

Do modelu se nezavádějí prutové imperfekce, pouze imperfekce soustavy (naklonění). Po provedení výpočtu vnitřních sil se provede posouzení prutů (odst. 6.3 normy), přičemž vzpěrné délky se mohou brát rovné systémovým délkám, tedy $L_{cr} \leq L$. Algoritmus výpočtu je potom následující:

- Zavedou se imperfekce soustavy
- Rozhodnutí o řádu výpočtu podle

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \leq 10 :$$

uses these terms for the classification; the classification of a frame is conducted on the basis of a stability calculation. The following condition is to be verified:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ in the case of the elastic analysis and} \quad (3)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ in the case of the plastic analysis, where}$$

F_{cr} is for critical load for the overall buckling,

F_{Ed} is for the design load acting on the structure.

If the condition (3) is met, it is sufficient to carry out the 1st-order global analysis, taking into consideration the initial geometry of the structure. For the proportion between the critical load and the design load ranging from 3 to 10, the Standard allows the simplified method of introducing 2nd-order effects, while the calculation allowing for the re-distribution of inner forces resulting from deformations of the frame is prescribed for the proportion smaller than 3.

In a general case, a stability calculation can be carried out “manually”; on top of that, there exists no general algorithm for the calculation. The majority of software programs distinguish neither their own global shapes of buckling modes (buckling eigenmodes), which are significant for the classification of the frame, nor the shapes corresponding to the shape of buckling of a local element (e.g. a railing post, diagonal braces etc.); in addition, the stability calculation has to be carried out and assessed separately for each stability combination. Although, it is again possible to apply the conservative approach, which will be described in more detail in paragraph 3.4.

3.3 Implementation of Initial Imperfections

The implementation of initial imperfections (inaccuracies) of the structure is closely related to the selection of the stability calculation procedure, which is described in the next paragraph. The Standard distinguishes sway imperfections and imperfections of a rod. Imperfections of a rod (initial deflections) can be used for the direct calculation of buckling of rods; this means that the buckling coefficient is not taken into consideration. The sway imperfections (initial tilting) take into consideration the initial tilting of the entire framework.

We are not going to present the values of rod imperfections referred to in the Standard. Sway imperfections are required according the following relationships:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (4)$$

where ϕ_0 is the basic value $\phi_0 = 1/200$;

α_h reduction coefficient depending on the height of columns h ;

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}, \text{ but } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 ;$$

h is for the height of the structure in metres,

α_m reduction coefficient for the number of columns in a row:

$$\alpha_m = \alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \leq 10 ;$$

m the number of columns in a row. Only the columns the load N_{Ed} acting on which is not lower than 50 per cent of the average load acting on the columns in the vertical plane being assessed.

Both types of imperfections can be substituted by an equivalent load which induces similar effects. The introduction of global initial imperfections by means of horizontal forces is outlined in Fig. 4.

Global imperfections can be disregarded for some types of building structures if the structure is loaded by a significant horizontal load. However, these rules cannot be applied in the case of colliery support frames.

$\alpha_{cr} < 10 \implies$ 2. řád nezanedbatelný

$\alpha_{cr} > 10 \implies$ 2. řád zanedbatelný

• Vzpěr a klopení pomocí součinitelů χ

• Vzpěrné délky systémové: $L_{cr} \leq L$

• Posouzení – interakční podmínky podle odst. 6.3.3 normy:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (6)$$

kde

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ a $M_{z,Ed}$ jsou návrhové hodnoty tlakové síly a největších momentů k ose y-y a z-z, působící na prutu;

$M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ momenty v důsledku posunu těžištvé osy pro průřezy třídy 4,

χ_y a χ_z součinitele vzpěrnosti při rovinném vzpěru;

χ_{LT} součinitel klopení;

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} součinitele interakce.

B. Metoda ekvivalentních prutů (sloupů), vzpěr a klopení ručně

Při tomto postupu se nezavádějí imperfekce prutů ani soustavy. Provede se výpočet podle teorie 1. řádu. Stejně jako v případě A se posuzují pruty podle odst. 6.3 normy. Vzpěrné délky se stanovují z tvaru globálního vybočení, tedy $L_{cr} > L$.

- Model bez imperfekcí
- Lineární výpočet (1. řád)
- Teoretické vzpěrné délky, tj. s posuvem styčniců ... $L_{cr} > L$
- Vzpěr a klopení pomocí součinitelů χ
- Posouzení – interakční podmínky podle odst. 6.3.3, zde (5) a (6).

C. 2. řád, imperfekce soustavy i prutové imperfekce (přímé řešení)

Přímé řešení spočívá v zavedení prutových imperfekcí i imperfekcí soustavy přímo do výpočetního modelu. Provádí se výpočet 2. řádem bez ohledu na velikost součinitele α_{cr} , vzpěr se zohlední ohybovým momentem, který je vyvolán počátečním prohnutím prutů. Provádí se posouzení průřezů podle odst. 6.2 normy.

3.4 Selection of the type of the stability calculation procedure

The structural calculation has to take into consideration the effects of both buckling and lateral torsional buckling, which are overall referred to as second-order effects. The designer can choose from several calculation methods. They usually differ in the precision, economy of the final design, work consumption and requirements for software, as well as suitability for particular types of structures. In principle, it is possible to proceed using the following three methods:

A. Sway imperfection, buckling and lateral torsional buckling – manual assessment

Only the sway imperfections are introduced into the model, no rod imperfections. When the calculation of inner forces is finished, the rods are assessed (paragraph 6.3 of the Standard); in so doing, it is possible to take effective lengths equal to system lengths, i.e. $L_{cr} \leq L$. The calculation algorithm is then as follows:

- Introduction of sway imperfections
- Decision on the calculation order according to

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \leq 10 :$$

$\alpha_{cr} < 10 \implies$ 2nd order cannot be disregarded

$\alpha_{cr} > 10 \implies$ 2nd order can be disregarded

- Buckling and lateral torsional buckling by means of χ coefficients
- System effective lengths: $L_{cr} \leq L$
- Assessment – interaction conditions according to paragraph 6.3.3 of the Standard:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (6)$$

where

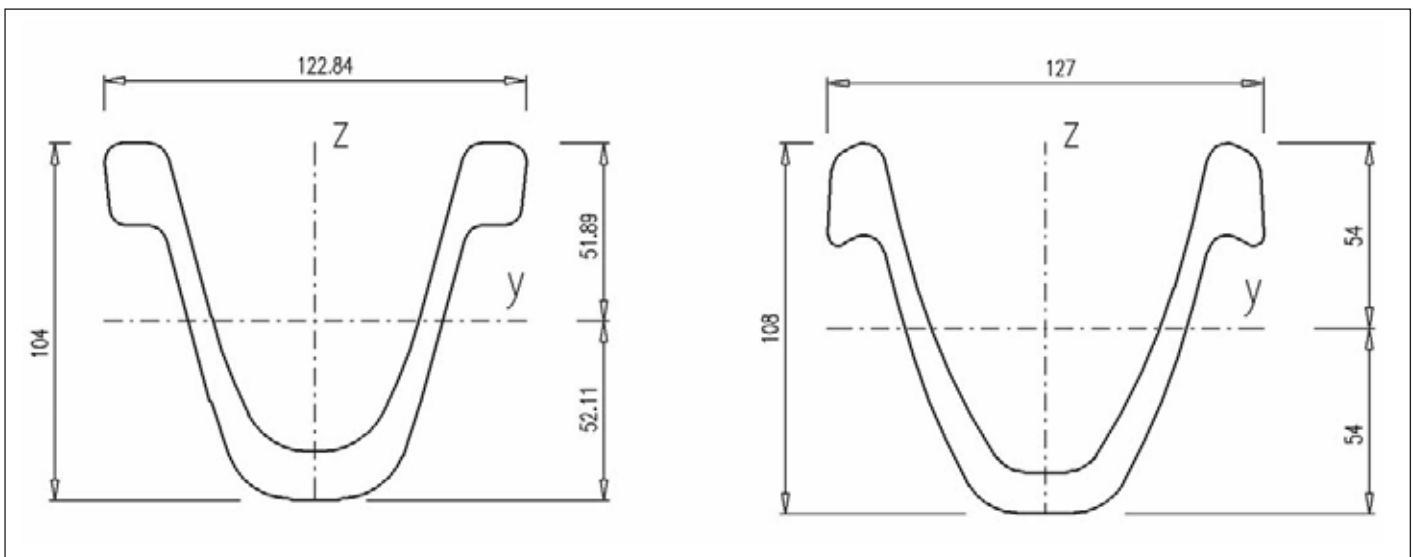
N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$ are for design values of the compression force and largest moments to axes y-y and z-z, acting on the rod;

$M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ moments induced due to shifting of the gravity axis for cross-section class 4,

χ_y and χ_z buckling coefficients at in-plane buckling;

χ_{LT} lateral torsional buckling coefficient;

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} interaction coefficients.



Obr. 1 Přčný řez profilem K21 a TH21

Fig. 1 Cross-section through K21 and TH21 profiles

- Model s prutovými imperfekcemi i s imperfekcemi soustavy
- Nelineární výpočet (2. řád)
- Posouzení průřezů podle odst. 6.2.9., zde (7), popř. (8). Klopení (popř. vzpěr z roviny) se zohlední obvykle dalším ručním posudkem.

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (7)$$

popř. při pružném posouzení

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8)$$

Význam značek je uveden v normě.

3.4.1 Vhodnost postupů pro výpočet rámové konstrukce

Obecně neplatí, že lze za všech okolností použít všechny postupy. Pro rámovou konstrukci důlní výztuže lze za jistých předpokladů postupovat podle všech tří algoritmů. Metoda A je pro tento účel vhodná a doporučená, je ovšem nutné zadat imperfekce soustavy a potom rozhodnout o řádu výpočtu na základě výpočtu součinitele α_{cr} , což může přinášet jisté obtíže. Metoda ekvivalentních sloupů (B), která je nejméně pracná (odpadá stabilitní výpočet i aplikace imperfekcí), se obecně pro rámové konstrukce nedoporučuje, protože zanedbává vliv 2. řádu pro příčel (stropnice), navíc je nejméně hospodárná. Přednorma [2] umožňovala zvětšit momenty v příčeli od posuvu styčnicků o 20 %, což představovalo bezpečný postup. Tato norma už dnes ovšem neplatí.

Metoda C, přímé řešení 2. řádem se zavedením obou typů imperfekcí, je použitelná a vede k hospodárnému návrhu. Nelze ovšem opomenout její jednoznačně největší pracnost a nároky na software.

Důlní výztuž není ovšem typická rámová konstrukce. Je ve vodorovném směru podepřena souvisle po celé výšce odporem zeminy, která ji současně zatěžuje. Pro dobře aktivovaný rám (obr. 2) lze předpokládat vybočení pouze v rovině kolmé na osu díla. Připojení výztuže na ostění rovněž zabraňuje klopení.



Obr. 2 Aktivované rámy
Fig. 2 Activated frames

B. Equivalent rods (columns), buckling and lateral torsional buckling – manual assessment

When this procedure is used, neither rod imperfections nor sway imperfections are introduced. The calculation is carried out according to the **1st-order** theory. Rods are assessed in the same way as it is in the A case, according to paragraph 6.3 of the Standard. Effective lengths are determined from the shape of the global buckling mode shape, therefore $L_{cr} > L$.

- Model without imperfections
- Linear calculation (1st order)
- Theoretical effective lengths, i.e. with the displacement of joints ... $L_{cr} > L$
- Buckling and lateral torsional buckling by means of χ coefficients
- Assessment – interaction conditions according to paragraph 6.3.3, herein (5) and (6).

C. 2nd order, sway imperfection and rod imperfections (direct solution)

The direct solution lies in the introduction of rod imperfections and sway imperfections directly into the calculation model. The **2nd-order** calculation is carried out, no matter the magnitude of coefficient α_{cr} ; buckling is allowed for through the bending moment which is induced by the initial deflection of rods. **Cross-sections** are assessed according to paragraph 6.2 of the Standard.

- A model with rod imperfections and sway imperfections
- Non-linear calculation (2nd order)
- Assessment of cross-sections according to paragraph 6.2.9, herein (7) or (8). Lateral torsional buckling (or out-of-plane buckling) is made provisions for by an additional manual assessment.

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (7)$$

or, in the case of an elastic assessment

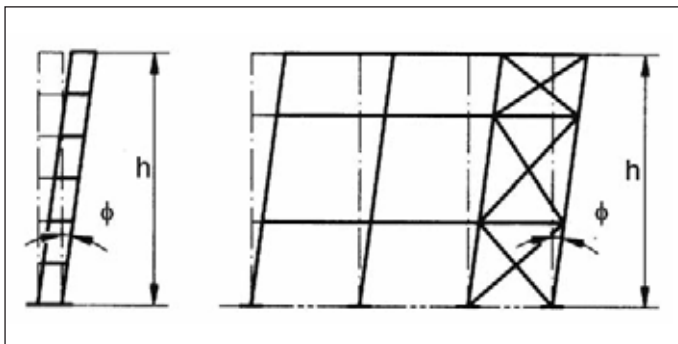
$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8)$$

The meaning of symbols is explained in the Standard.

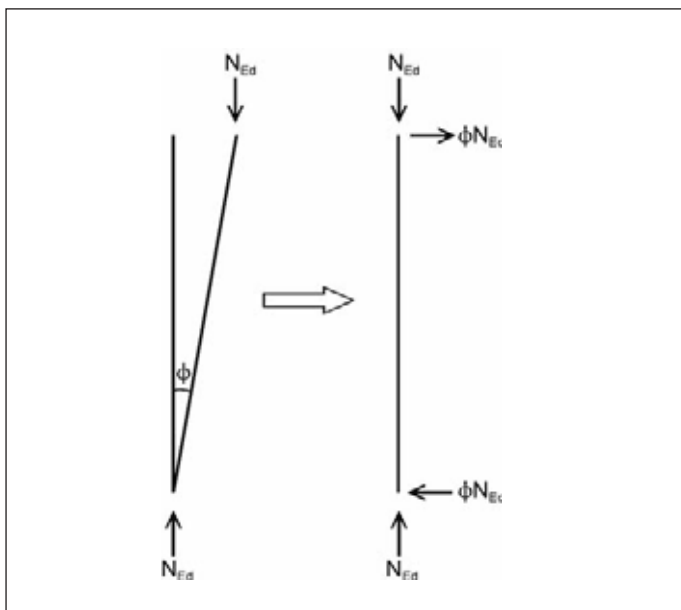
3.4.1 Suitability of procedures for frames

It generally does not apply that all of the procedures can be used under any circumstances. As far as a colliery support frame structure is concerned, it is possible under certain conditions to use all of the three algorithms. Method A is suitable and recommended for this purpose, however, it is necessary to introduce sway imperfections and then decide on the calculation order on the basis of α_{cr} , which may carry certain difficulties. The equivalent columns method (B), which is least laborious (the stability calculation and the application of imperfections is not carried out) is not in general recommended for frames because it disregards the effect of the 2nd order for cross bars (overhead beams) and, in addition, it is less economic. The pre-Standard [2] made it possible to increase moments in the cross bar induced by the displacement of joints by 20 %, which represented a safe procedure. Nevertheless, this standard is today invalid.

Method C, the direct solution through the 2nd order, introducing both types of imperfections, leads to an economic design. Of course,



Obr. 3 Zavedení globálních imperfekcí
Fig. 3 Introduction of global imperfections



Obr. 4 Nahrazení počátečních imperfekcí soustavou náhradních vodorovných sil

Fig. 4 Substitution of initial imperfections by a system of substitute horizontal forces

3.5 Číselný příklad

Pro posouzení ocelové konstrukce podle [1] byl zvolen lichoběžníkový příčný řez štoly LB.07 s výztuží z válcovaných profilů K21. Spojení jednotlivých dílů důlní ocelové výztuže je navrženo třmenovým spojem se dvěma třmeny. Konstrukce tvoří symetrický rám se šikmými stojkami, které jsou kloubově uloženy. Rámové rohy jsou zaoblené. Celý rám je liniově podepřen radiálními a tangenciálními pružinami. Radiální pružiny působí pouze v tlaku, tangenciální liniové podpory působí pružně. Tento systém simuluje uložení rámu provizorní výstroje do podložných patek (obr. 5). Podélná vzdálenost rámu je 1 m, je uvažováno svislé návrhové zatížení příčně hodnotou

$$p_{z,ED} = 30 \text{ kN/m}^2 = 30 \text{ kN/m}$$

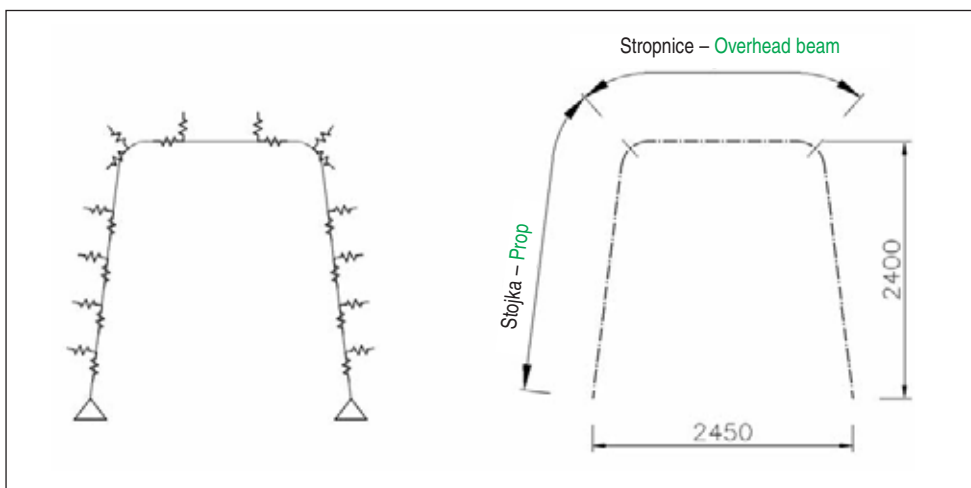
a vodorovné zatížení stojek

$$p_{y,ED} = 10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ kN/m}.$$

Hodnoty zatížení jsou určeny podle klenbové teorie M. M. Protodjakonova pro různě tvrdě břidlice, koeficient pevnosti horniny $f_p = 3$.

Klasifikace

Provedeme klasifikaci průřezu K21. Jak je výše uvedeno, rozhodující je geometrický tvar průřezu a způsob namáhání. Na počátku výpočtu obvykle není zcela jasné, jaké vnitřní síly se budou v konstrukci vyskytovat, a proto je proveden buď odhad, který se dále zpřesňuje,



Obr. 5 Statický model rámu

Fig. 5 Static model of a frame

the unambiguously highest laboriousness and demands for software cannot be forgotten.

Nevertheless, a colliery frame is not a typical frame structure. It is supported horizontally continually, throughout its height, by the ground resistance, which at the same time applies the load on it. It is possible to assume that a well activated colliery frame (see Fig. 2) can buckle only in the plane perpendicular to the tunnel centre line. The connection of the reinforcement to the lining also prevents lateral torsional buckling.

3.5 Numerical example

A trapezoidal cross-section through LB.07 adit with the support consisting of rolled profiles K21 was chosen for the assessment of the steel structure according to [1]. The connection between individual segments of the colliery steel frames is designed by means of a stirrup joint consisting of two stirrups. The structure is a symmetric frame with slanted hinged props. The frame corners are rounded. The whole frame is linearly supported by radial and tangential springs. The radial springs act only on compression, while the tangential linear supports act elastically. This system simulates the bearing of the temporary support frame in supporting footings (see Fig. 5). The longitudinal spacing of the frames is 1 m; the design load acting on the cross bar is assumed to be

$$p_{z,ED} = 30 \text{ kN/m}^2 = 30 \text{ kN/m}$$

and the horizontal load acting on the props to be

$$p_{y,ED} = 10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ kN/m}.$$

The load values are determined according to the arch theory for shales with various hardness, with the rock strength coefficient $f_p = 3$.

Classification

We will carry out the classification of K21 cross-section. As mentioned above, the geometrical shape of the cross-section and the loading mode decide. At the beginning of the calculation it is usually not totally clear which inner forces will exist in the structure. For that reason, either an assessment is carried out to be further improved or an elastic global analysis is conducted directly, conservatively, and the classification is performed subsequently, on the basis of its results.

In the case of mining frames, it is possible to expect that combined loading by axial pressure and bending will act on the props and the cross bar (overhead beam). Table 5.2 of the Standard contains classification rules for these cases, specifying the exact proportion between the compressed and tensioned parts of the cross-section. It is conservatively possible to assume the entire cross-section to be compressed.

Another difficulty emerges at the moment of the interpretation of the cross-section geometry. The Standard distinguishes inner and projecting parts of a cross-section or tubes. K21 cross-section can again

be conservatively assumed to be a cross-section consisting of one inner part (the bottom of a trough) and two projecting parts. The favourable effect of the expanded sides (walls) will be eventually disregarded.

Then the following condition must be met for Class 1:

a) for the projecting parts

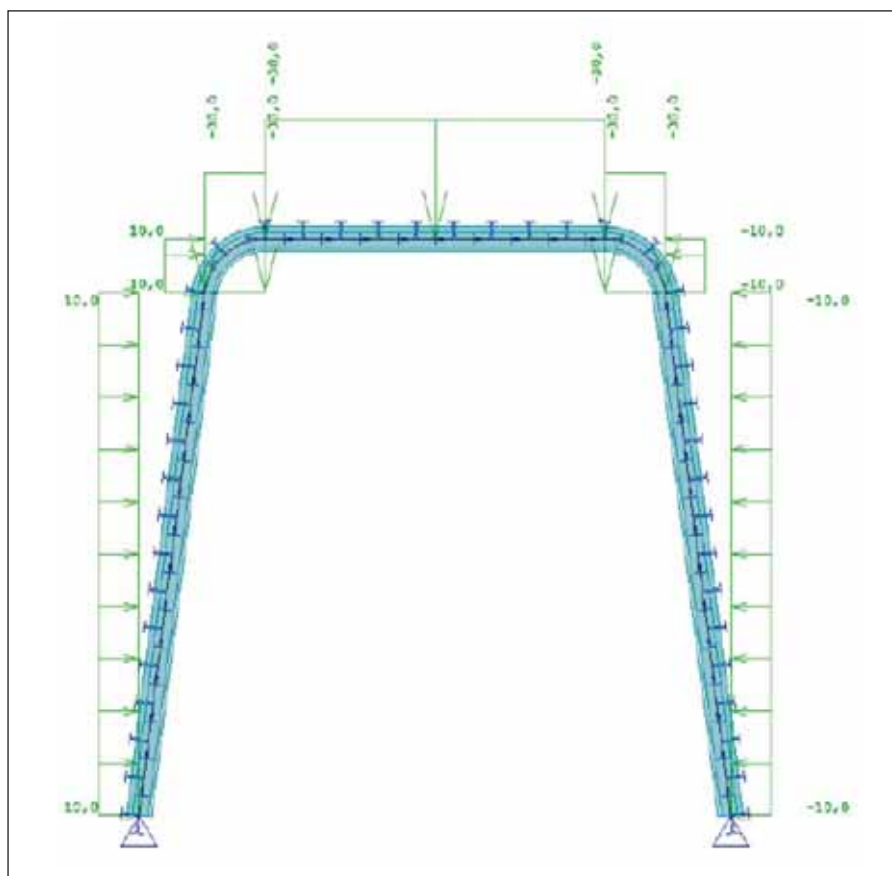
$$\frac{c}{t} \leq 9\epsilon = 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad (9)$$

where c is for the length of the projecting part

t is for thickness of the part

f_y is for the yield strength.

In our case the result is (for an average thickness of the wall of 10.3 mm – as specified by the program) as follows:



Obr. 6 Zatížení rámu, schéma podepření a rozdělení rámu na pruhy
Fig. 6 Frame loading, chart of the bearing and division into bars

nebo se rovnou konzervativně provede pružná globální analýza a klasifikace se provádí až na základě jejich výsledků.

V případě důlní výztuže lze očekávat ve stojkách i příčli (stropnici) kombinované namáhání osovým tlakem a ohybem. Tabulka 5.2 normy udává pro tyto případy klasifikační pravidla pro přesný poměr tlacené a tažené části průřezu. Konzervativně lze uvažovat celý průřez tlacený (což může vést k vyšší třídě průřezu).

Další obtíž nastává v okamžiku interpretace tvaru průřezu. Norma rozlišuje vnitřní a přečnávající části průřezu, popř. trubky. Průřez K21 lze opět konzervativně považovat za průřez s jednou vnitřní částí (dno žlabu) a dvěma přečnávajícími částmi. Příznivý účinek rozšíření bočnic (stěn) na konci bude zanedbán.

Potom pro 1. třídu musí být splněna podmínka:

a) pro přečnávající části:

$$\frac{c}{t} \leq 9\epsilon = 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (9)$$

kde c je délka přečnávající části
 t je tloušťka části
 f_y je mez kluzu.

V našem případě vychází (pro průměrnou tloušťku stěny 10,3 mm – stanoveno programem)

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{10,3} = 9,2 \leq 9\epsilon = 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 9 \sqrt{\frac{235}{295}} = 8, \text{ není splněno,}$$

b) pro vnitřní část:

$$\frac{c}{t} \leq 33\epsilon = 33 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (10)$$

kde c je délka vnitřní části,
 t je tloušťka části,
 f_y je mez kluzu.

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{10,3} = 9,2 \leq 9\epsilon = 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 9 \sqrt{\frac{235}{295}} = 8,$$

the condition is not met.

b) for the inner part

$$\frac{c}{t} \leq 33\epsilon = 33 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (10)$$

where c is for the length of the inner part,

t is for the thickness of the part,

f_y is for yield strength.

In our case, we consider the actual dimensions

$$\frac{c}{t} = \frac{46}{14} = 3,3 \leq 33\epsilon = 33 \sqrt{\frac{235}{295}} = 29,$$

the condition is met.

It turned out that if we disregard the favourable effect of braces at the upper end of the walls, it is not possible to apply class 1. We will further assess the wall for class 2:

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{10,3} = 9,2 \leq 10\epsilon = 10 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 10 \sqrt{\frac{235}{295}} = 8,9$$

again, the condition is not met,

for class 3

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{10,3} = 9,2 \leq 14\epsilon = 14 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 14 \sqrt{\frac{235}{295}} = 12,5$$

the condition is met.

We will conservatively leave class 3 for the whole following calculation. Then the global analysis and assessment of elements have to be conducted in the elastic way.

A note on the classification of the cross-section:

The classification of K21 cross-section was carried out according to Table 5.2 of the Standard for a U profile, but K21 profile is much more complex and dissected. This simplification leads to the categorisation of the cross-section as class 3, which is very conservative as far as the assessment is concerned, but does not allow us to make use of the plastic reserve of this profile. The authors had two reasons for this step: difficulties with the determination of the magnitude of the shearing area A_v according to paragraph 6.2 of the Standard (the calculation is not presented for a general cross-section) and generally higher uncertainty in determining the load acting on the geotechnical structure. Despite this simplification, the use of the cross-section is insignificant. The use of the plastic reserve in the case of this cross-section would be probably possible in reasoned cases, on the basis of a more thorough analysis.

Critical load coefficient

Taking into consideration the reasons mentioned above in paragraph 3.4.1, we will head towards the recommended method A. The design values of loads have to be taken into account in the stability combination. Support rigidity values are taken into account according to [12] as follows:

Radial rigidity:

$$k_r = \frac{E_{st}}{r(1+\nu)}, \text{ in our case } k_r = 10 \text{ MN/m}^3.$$

Tangential rigidity k_t was guessed to be 0.1 MN/m^3 .

SCIA Engineer 2010.1 program was used for the calculation. The magnitude of the load taken into consideration is shown in Fig. 6.

The values of coefficients α_{cr} according to condition (3) are presented in Table 2; Fig. 7 shows the corresponding buckling eigenmodes.

V našem případě odečteme přibližné rozměry

$$\frac{c}{t} = \frac{46}{14} = 3,3 \leq 33\epsilon = 33\sqrt{\frac{235}{295}} = 29, \text{ je splněno.}$$

Ukázalo se, že pokud zanedbáme příznivý vliv výtuh na horním konci stěn, nelze konzervativně průřez považovat za třídu 1. Prověříme stěnu dále pro 2. třídu:

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{10,3} = 9,2 \leq 10\epsilon = 10\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 10\sqrt{\frac{235}{295}} = 8,9, \text{ opět není splněno,}$$

pro 3. třídu:

$$\frac{c}{t} = \frac{95}{10,3} = 9,2 \leq 14\epsilon = 14\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 14\sqrt{\frac{235}{295}} = 12,5, \text{ je splněno.}$$

Ponecháme konzervativně třídu 3 pro celý následující výpočet. Globální analýza i posouzení prvků musí být potom provedeny pružně.

Poznámka k zařídění průřezu:

Zařídění profilu K21 bylo provedeno podle tabulky 5.2 normy jako profil U, profil K21 je však podstatně složitější a členitější. Provedené zjednodušení vede k zařazení průřezu do 3. třídy průřezu, což je z hlediska posuzování velmi konzervativní a na straně bezpečnosti, avšak neumožňuje využití plastické rezervy tohoto profilu. K tomuto kroku vedly autory dva důvody: obtíž se stanovením velikosti smykové plochy A_v podle odstavce 6.2.6 normy (pro obecný průřez není výpočet uveden) a obecně vyšší nejistota při stanovení zatížení geotechnické konstrukce. Přes toto zjednodušení je využití průřezu nevýznamné. Využití plastické rezervy u tohoto průřezu by v odůvodněných případech na základě důkladnější analýzy pravděpodobně bylo možné.

Součinitel kritického zatížení

Vzhledem k důvodům uvedeným v odstavci 3.4.1 budeme směřovat k doporučené metodě A. Ve stabilitní kombinaci je potřeba uvažovat návrhové hodnoty zatížení. Tuhosti podepření jsou uvažovány podle [12] následovně.

Tuhost v radiálním směru:

$$k_r = \frac{E_{def}}{r(1+\nu)}, \text{ v našem případě } k_r = 10 \text{ MN/m}^3.$$

Tuhost v tangenciálním směru k_t byla odhadnuta na $0,1 \text{ MN/m}^3$.

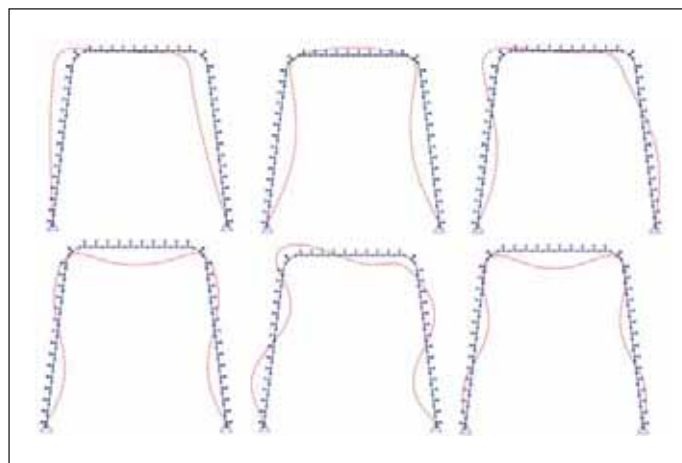
Pro výpočet byl použit program SCIA Engineer 2010.1. Velikost uvažovaného zatížení je patrná z obr. 6.

Hodnoty součinitelů α_{cr} podle podmínky (3) jsou uvedeny v tab. 2, na obr. 7 jsou vykresleny odpovídající vlastní tvary vybočení.

Tab. 2 Součinitele kritického zatížení

Součinitele kritického zatížení	
Číslo vlastního tvaru	α_{cr}
1	18,57
2	46,57
3	64,40
4	122,76
5	156,46
6	212,34

Protože podmínka (3) je splněna už pro první vlastní tvar, je možné pokračovat globální analýzou 1. řádu s uvažováním imperfekcí soustavy (postup A). Obecně je nutné ještě ověřit, že první vlastní tvar vybočení odpovídá pravděpodobnému kolapsu celé konstrukce a nejedná se jen o lokální nevýznamný efekt (např. výplňový sloupek zábradlí v modelu schodiště, neaktivní lano apod.). První vlastní tvar vybočení jednoznačně odpovídá konstrukci s posuvnými styčnými.



Obr. 7 Vlastní tvary vybočení č. 1–6

Fig. 7 Buckling eigenmodes No. 1–6

Table 2 Coefficients of critical loads

Coefficients of critical loads	
Buckling eigenmodes	α_{cr}
1	18,57
2	46,57
3	64,40
4	122,76
5	156,46
6	212,34

Since condition (3) is met already for the first buckling eigenmode, it is possible to proceed with the 1st-degree global analysis, taking into consideration sway imperfections (procedure A). In addition, it is generally necessary to verify whether the first buckling eigenmode corresponds to the probable collapse of the whole structure, that it is not a local, insignificant effect (affecting, for instance, an infill post of a handrail in the model of a staircase, an inactive cable etc.). The 1st buckling eigenmode unambiguously corresponds to the structure with sliding joints.

Imperfections

The initial imperfection is, according to (4):

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_s \cdot \alpha = \frac{1}{200} \cdot 1 \cdot 1 = 0,005$$

We substitute tilting of the structure by a horizontal force acting at the level of the cross bar:

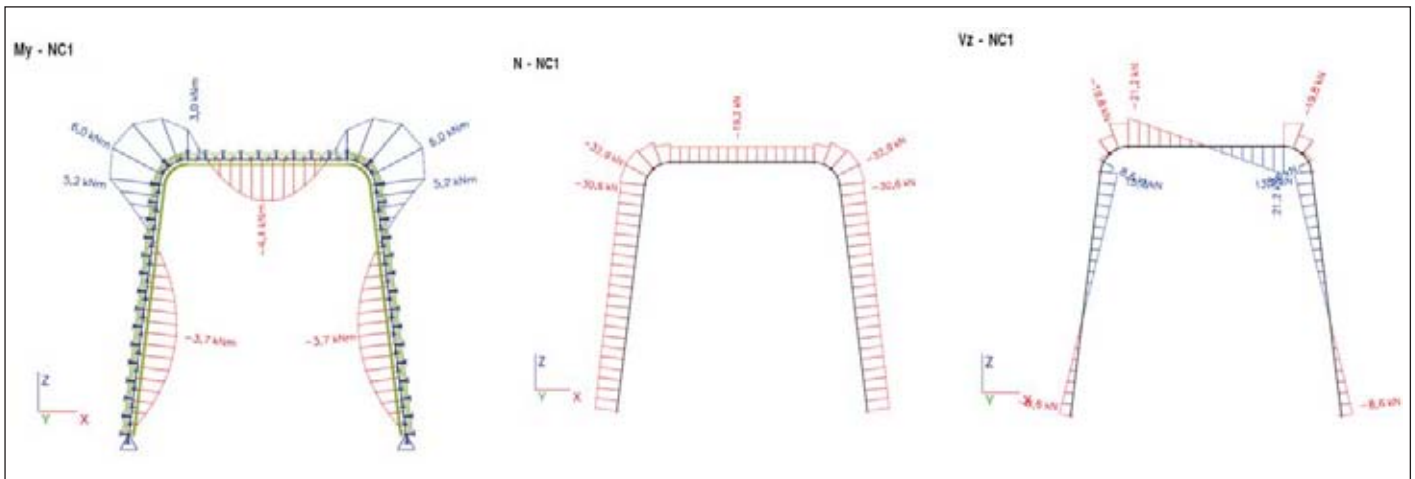
$$I_{ED} = \phi \cdot N_{ED} = 0,005 \cdot 2,14 = 0,32 \text{ kN.}$$

Inner forces

It is obvious at first sight that this is only a slight increase in stresses; the asymmetry will manifest itself only in the second decimal place (it is not displayed). Resultant inner forces on the frame with the original loads with the horizontal force I_{ED} added to them are presented in Fig. 8.

Prop assessment

A colliery support frame is loaded by a combination of a normal force, shear force and a bending moment. Because we have categorised the cross-section as class 3, it is necessary to carry out an elastic assessment according to relationships (5) and (6). Since in our case lateral torsional buckling is prevented and biaxial bending does not occur in this case, the relationships are simplified:



Obr. 8 Průběh ohybových momentů, normálových sil a posouvajících sil
Fig. 8 Curvatures for bending moments, normal forces and shear forces

Imperfekce

Počáteční imperfekce je podle (4):

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_c = \frac{1}{200} \cdot 1 \cdot 1 = 0,005$$

Naklonění konstrukce nahradíme vodorovnou silou v úrovni příčle:
 $I_{ED} = \phi \cdot N_{ED} = 0,005 \cdot 2 \cdot 14 = 0,32 \text{ kN}$.

Vnitřní síly

Na první pohled je vidět, že jde jen o nepatrné zvýšení namáhání, nesymetrie se projeví až na druhém desetinném místě (není zobrazeno). Výsledné vnitřní síly na soustavě s původním zatížením doplněným o vodorovnou sílu I_{ED} jsou na obr. 8.

Posouzení stojky

Rám ocelové důlní výtuzže je namáhán kombinací normálové síly, smykové síly a ohybového momentu. Protože jsme zařadili průřez do 3. třídy, musí být provedeno pružné posouzení podle vztahů (5) a (6). Protože je v našem případě zabráněno klopení a nevyskytuje se zde šikmý ohyb, vztahy se zjednoduší:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} \leq 1,$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} \leq 1$$

Charakteristické hodnoty únosnosti průřezu v tlaku a ohybu jsou
 $N_{Rk} = A \cdot f_y = 2642 \cdot 295 = 779,4 \text{ kN}$,
 $M_{y,el,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 61,5 \cdot 10^3 \cdot 295 = 18,07 \text{ kNm}$.

Stanovíme součinitele vzpěrnosti χ_y a χ_{zy} . Protože v podélném směru díla je stojka průběžně zajištěna proti vybočení, je $\chi_y = 1$.

Vzpěrnou délku pro vybočení v rovině rámu budeme uvažovat systémovou podle odstavce 3.4A, tedy rovnou délce L.

$$L_{cr,y} = L = 2\,400 \text{ mm},$$

Dále určíme poměrnou štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2\,400}{\sqrt{3\,191\,000}} \cdot \frac{1}{83,8} = 0,824$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{295}} = 83,8$$

a následně součinitel vzpěrnosti χ_y (uvažujeme křivku c pro U průřez):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} \leq 1$$

Characteristic values of the bearing capacity of the cross-section in compression and bending are as follows:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2642 \cdot 295 = 779,4 \text{ kN},$$

$$M_{y,el,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 61,5 \cdot 10^3 \cdot 295 = 18,07 \text{ kNm}.$$

We determine buckling coefficients χ_y and χ_{zy} . Because the buckling of the prop in the longitudinal direction of the tunnel is prevented,

$$\chi_y = 1.$$

We will consider the effective length for buckling in the plane of the frame to be given by the system, according to paragraph 3.4A, therefore its length will be identical with the prop length L.

$$L_{cr,y} = L = 2400 \text{ mm},$$

Further we determine the relative ratio of slenderness

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2\,400}{\sqrt{3\,191\,000}} \cdot \frac{1}{83,8} = 0,824$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{295}} = 83,8$$

and subsequently the buckling coefficient χ_y (we use the c curve for a U cross-section):

$$\chi_y = 0,65$$

Then the coefficients k_{yy} and k_{zy} are calculated. For their determination, we use the recommended appendix B of the Standard. First we determine the equivalent moment coefficient C_{my} according to Table B.3 of the standard (here in Table 3):

According to the 1st stability buckling eigenmode this is a frame with displacement of joints, therefore, according to the note in the Table 3.

Coefficients k_{yy} and k_{zy} are according to the recommended appendix B.1 of the Standard (here in Table 4). Because the prop is supported throughout its length, it is not prone to torsion.

Tab. 3 Součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu
Table 3 Coefficients C_m of the equivalent constant moment

Průběh momentu Moment curvature	Rozsah Range		C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
			Rovnoměrné zatížení Uniformly distributed load	Soustředěné zatížení Concentrated load
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)NP$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{Mz} = 0,9$.
 C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:
 The equivalent constant moment factor for buckling with displacement of joints is to be considered to be $C_{my} = 0,9$ or $C_{Mz} = 0,9$.
 C_{my} , C_{mz} and C_{mLT} are to be determined with respect to the moment curvature between respective supporting points as follows:

Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:	Factor:	bending axis:	points supported in the direction:
C_{my}	y-y	z-z	C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y	C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y	C_{mLT}	y-y	y-y

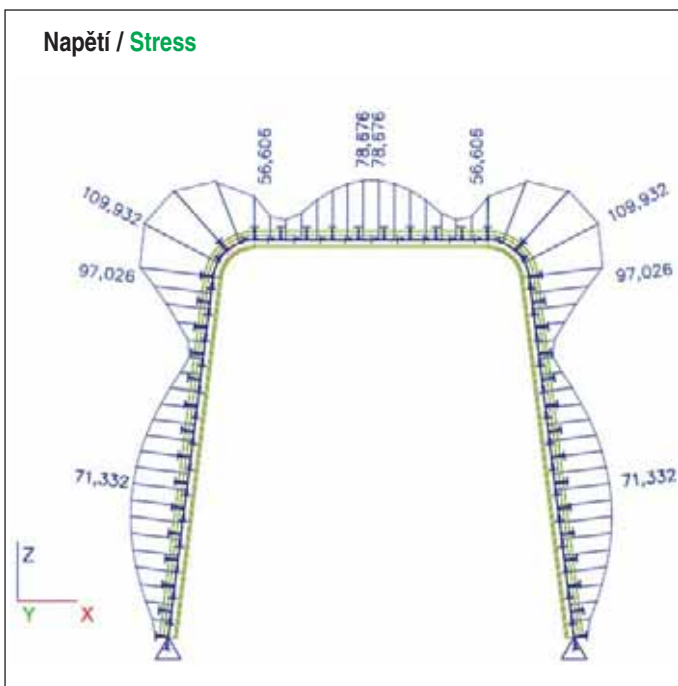
$\chi_y = 0,65$

Dále se vypočtou součinitele k_{yy} a k_{zy} . Pro jejich stanovení využijeme doporučenou přílohu B normy. Nejprve určíme podle tabulky B.3 normy součinitel ekvivalentního momentu C_{my} (tab. 3).

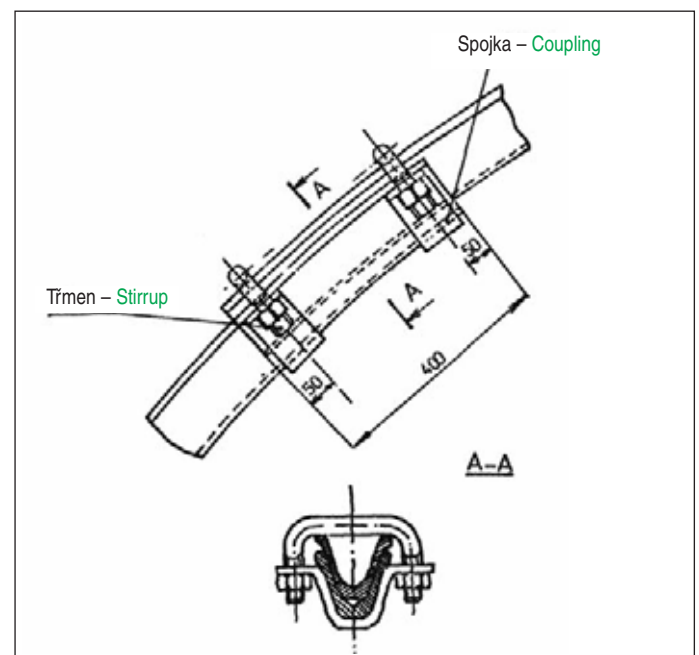
Podle 1. vlastního tvaru stabilitního vybočení se jedná o rám s posuvem styčniců, proto podle poznámky v tabulce: $C_{m,y} = 0,9$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou podle doporučené přílohy B.1 normy (zde tab. 4). Protože je stojka po celé délce kontinuálně podepřena, není náchylná ke zkroutení.

$$k_{zy} = \min \left(\begin{matrix} C_{my} \left(1 + 0,6 \chi_y \frac{N_{Ed}}{Z_i \gamma_{M1}} \right) \\ C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{Z_i \gamma_{M1}} \right) \end{matrix} \right) = \min \left(\begin{matrix} 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,824 \frac{32\,900}{0,65 \cdot 779\,000} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \frac{32\,900}{0,65 \cdot 779\,000} \right) \end{matrix} \right) = \min \left(\begin{matrix} 0,93 \\ 0,94 \end{matrix} \right) = 0,93$$



Obr. 9 Průběh srovnávacího napětí
Fig. 9 Equivalent stress curvature



Obr. 10 Třmenový spoj
Fig. 10 Stirrup joint

Tab. 4 Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které nejsou náchylné ke zkroucení
Table 4 Interaction coefficients k_{ij} for bars which are not prone to torsion

Interakční součinitele Interaction coefficients	Typ průřezu Cross-section type	Předpoklady navrhování / Design assumptions	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4 Elastic design – cross section classes 3 and 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2 Plastic design – cross-section classes 1 and 2
k_{yy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy I sections, rectangular, hollow sections	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy I sections, rectangular, hollow sections	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy I sections, rectangular, hollow sections	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I průřezy I sections	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Pravoúhlé duté průřezy Rectangular hollow sections		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Pro I a H-průřezy a pro pravoúhlé duté průřezy namáhané osovým tlakem a rovinným ohybem $M_{y,Ed}$ může být $k_{zy} = 0$.
For I and H cross-sections and rectangular hollow sections loaded by axial pressure and in-plane bending $M_{y,Ed}$, the k_{zy} may be equal to zero.

$$k_{yy} = \min \left(\begin{matrix} C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{matrix} \right) = \min \left(\begin{matrix} 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,824 \frac{32\,900}{0,65 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \frac{32\,900}{0,65 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} \right) \end{matrix} \right) = \min \left(\begin{matrix} 0,93 \\ 0,94 \end{matrix} \right) = 0,93$$

$$k_{zy} = 0,8 k_{yy} = 0,8 \cdot 0,92 = 0,74$$

Po dosažení do interakčních podmínek vychází:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} = \frac{32\,900}{0,65 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,93 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,06 + 0,31 = 0,37 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} = \frac{32\,900}{1,0 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,74 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,04 + 0,25 = 0,29 \leq 1$$

After inserting into the interaction conditions, the result is:

The prop is perfectly satisfactory for the combination of compression and bending.

Assessment of shear carrying capacity of the prop cross-section

We determine the value of the maximum shear stress in the prop cross-section:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S_z}{I t} = \frac{19\,800 \cdot 42\,130}{3\,191 \cdot 10^6 \cdot 13,96} = 18,7 \text{ MPa} < \frac{f_y}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}} = \frac{295}{1 \cdot \sqrt{3}} = 170,3 \text{ MPa}$$

Assessment of equivalent stress in the cross-section

We add the calculation of the equivalent stress. The maximum value is found in the frame corner:

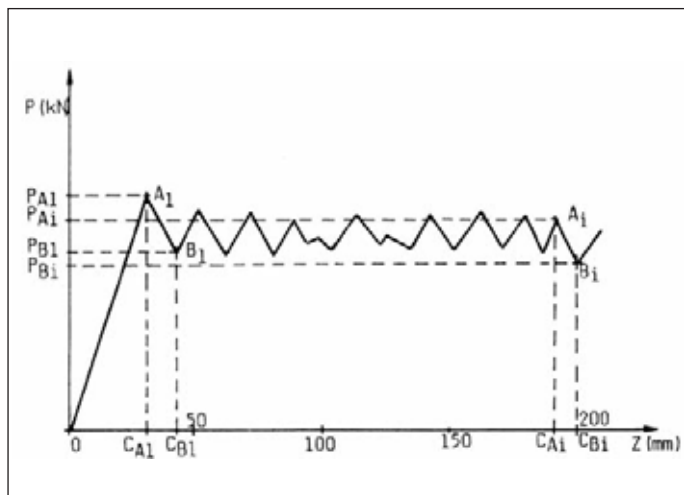
$$\sqrt{\sigma_{Ed}^2 + 3 \tau_{Ed}^2} = 110 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{295}{1,0} = 295 \text{ MPa}$$

Assessment of the cross bar (overhead beam)

We will use a similar assessment procedure even in the case of the frame cross bar. Characteristic values of the carrying capacity of the cross-section in compression and bending are identical as in the case of the prop:

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 2642 \cdot 295 = 779,4 \text{ kN,}$$

$$M_{y,el,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 61,5 \cdot 10^3 \cdot 295 = 18,07 \text{ kNm.}$$



Obr. 11 Práce spoje
Fig. 11 Action of the joint

$$\chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{32\,900}{0,65 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,93 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,06 + 0,31 = 0,37 \leq 1,$$

$$\chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{32\,900}{1,0 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,74 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,04 + 0,25 = 0,29 \leq 1$$

Stojka na kombinaci tlaku a ohybu bezpečně vyhovuje.

Posouzení smykové únosnosti průřezu stojky

Stanovíme hodnotu maximálního smykového napětí v průřezu stojky:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S_y}{I t} = \frac{19\,800 \cdot 42\,130}{3\,191 \cdot 10^6 \cdot 13,96} = 18,7 \text{ MPa} < \frac{f_y}{\gamma_{Mn} \cdot \sqrt{3}} = \frac{295}{1 \cdot \sqrt{3}} = 170,3 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Posouzení srovnávacího napětí v průřezu

Doplňme výpočet srovnávacího napětí. Maximální hodnotu dostáváme v rámovém rohu:

$$\sqrt{\sigma_{ra}^2 + 3 \tau_{ra}^2} = 110 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{Mn}} = \frac{295}{1,0} = 295 \text{ MPa}$$

Posouzení příčle (stropnice)

Obdobný postup posouzení použijeme i v případě rámové příčle. Charakteristické hodnoty únosnosti průřezu v tlaku a ohybu jsou stejné jako u stojky:

$$N_{rk} = A \cdot f_y = 2642 \cdot 295 = 779,4 \text{ kN},$$

$$M_{y,el,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 61,5 \cdot 10^3 \cdot 295 = 18,07 \text{ kNm}.$$

Stanovíme součinitel vzpěrnosti χ_y . Vzpěrnou délku pro vybočení v rovině rámu budeme opět uvažovat systémovou podle odstavce 3.4A, tedy rovnou délce L:

$$L_{cr,y} = L = 1\,750 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1\,750}{\sqrt{3\,191\,000}} \cdot \frac{1}{83,8} = 0,60$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{295}} = 83,8$$

a následně součinitel vzpěrnosti χ_y (uvažujeme křivku c pro U průřez):

$$\chi_y = 0,785 \text{ a } C_{m,y} = 0,9$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou podle doporučené přílohy B.1 normy (zde tab. 4). Protože je stropnice po celé délce kontinuálně podepřena, není náchylná ke zkroucení.

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{m,y} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{Z_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{m,y} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{Z_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,6 \frac{32\,900}{0,785 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \frac{32\,900}{0,785 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,92 \\ 0,93 \end{array} \right) = 0,92$$

Po dosazení do interakčních podmínek vychází:

$$\chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{32\,900}{0,60 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,92 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,07 + 0,31 = 0,38 \leq 1,$$

a

$$\chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{32\,900}{1,0 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,74 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,04 + 0,25 = 0,29 \leq 1$$

Stropnice na kombinaci tlaku a ohybu bezpečně vyhovuje. Posouzení smykového a srovnávacího napětí je zřejmé z posouzení stojky.

3.6 Posouzení spoje

Spojení jednotlivých dříů dřílní ocelové výztuže je provedeno třmenovým spojem (obr. 10). Tento spoj je primárně navržen jako

We determine the buckling coefficient χ_y . The effective length for buckling in the frame plane is again considered to be systematic according to paragraph 3.4A, equal to length L:

$$L_{cr,y} = L = 1\,750 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1\,750}{\sqrt{3\,191\,000}} \cdot \frac{1}{83,8} = 0,60$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{295}} = 83,8$$

and subsequently the buckling coefficient χ_y (we assume the c curve for a U section):

$$\chi_y = 0,785$$

and

$$C_{m,y} = 0,9$$

Coefficients k_{yy} and k_{zy} are determined according to the recommended appendix B.1 of the Standard (herein Table 4). Because the cross bar is supported continually throughout its length, it is not prone to torsion.

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{m,y} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{Z_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{m,y} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{Z_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,6 \frac{32\,900}{0,785 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \frac{32\,900}{0,785 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{l} 0,92 \\ 0,93 \end{array} \right) = 0,92$$

After inserting them into interaction conditions, the result is as follows:

$$\chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{32\,900}{0,60 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,92 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,07 + 0,31 = 0,38 \leq 1,$$

and

$$\chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{32\,900}{1,0 \cdot \frac{779\,000}{1,0}} + 0,74 \frac{6,0 \cdot 10^6}{18,07 \cdot 10^6} = 0,04 + 0,25 = 0,29 \leq 1$$

The overhead beam is fully satisfactory for the combination of compression and bending. The assessment of the shear stress and equivalent stress is obvious from the prop assessment.

3.6 Joint assessment

Stirrup joints (see Fig. 10) are used for connections between individual components of the mining support frames. The joint is primarily designed as a yielding structure, which means that when a certain force is reached, the joint slips (see Fig. 11). The carrying capacity of the stirrup joint (i.e. the resistance of the support against slipping) depends first of all on the tightening torque and mechanical properties of the connecting material (the stirrup, coupling element and nuts). The procedure for determining the carrying capacity of the joint (working characteristics of the joint) is contained in [10] or in [11]. The result of the test is a chart of the work of the joint (see Fig. 11), from which the mean sliding-mode load carrying capacity of the joint and the maximum sliding-mode carrying capacity of the joint is determined.

According to [11], the lowest average value of the resistance or the support against sliding for the above-mentioned stirrup joint is 150 kN. The normal force in the joint location in

poddajný, tzn. že při dosažení určité síly dojde k prokluzu spoje (obr. 11). Únosnost třmenového spoje (tzn. odpor výztuže proti prokluzu) je dána především utahovacím momentem a mechanickými vlastnostmi spojovacího materiálu (tzn. třmene, spojky a matic). Postup pro určení únosnosti spoje (pracovní charakteristiky spoje) je uveden v [10] popř. v [11]. Výsledkem zkoušky je graf práce spoje obr. 11, z něhož se určí střední prokluzová nosnost spoje a maximální prokluzová nosnost spoje.

Pro výše uvedený třmenový spoj je podle [11] nejnižší průměrná hodnota odporu výztuže proti prokluzu 150 kN. Normálová síla v místě spoje v předchozím výpočtu byla 19,2 kN, což je výrazně méně.

4 ZÁVĚR

Tradiční válcovaná důlní ocelová výztuž je pro své výhody (okamžitá schopnost přenášet zatížení, tvarová variabilita, jednoduchá montáž) používána i v současnosti.

Vzhledem k přechodu z norem řady ČSN na řadu ČSN EN je nutné provádět návrh a posouzení válcované důlní ocelové výztuže podle v dnešní době platných norem tzv. Eurokódů. Postup posouzení rámu výztuže podle Eurokódu je ve srovnání s původními postupy komplikovanější. Zpravidla je potřeba nejprve provést stabilitní výpočet a další postup volit až na základě jeho výsledku. Na druhé straně moderní přístup umožňuje lepší využití materiálu průřezu (plastické posouzení), a tím i hospodárnější návrh.

V uvedeném číselném příkladu se přínos plastického posouzení neuplatnil, využití průřezu bylo i při pružném posouzení necelých 40 %. Při řešení obecné úlohy pro důlní rámy je však nutné dodržovat zásady uvedené v [1], neboť při určité kombinaci vstupních veličin (geometrie rámu, intenzita zatížení, poměr svislého a vodorovného zatížení, tuhost podepření atd.) může dojít k výrazně odlišnému chování konstrukce. I konstrukce ve výše uvedeném číselném příkladu vykazovala první tvar stabilitního vybočení odpovídající konstrukci s posuvnými styčníky, a to přesto, že jde o výztuž umístěnou do relativně kvalitní horniny. Předvídat chování konstrukce v hornině s jinými parametry je velmi obtížné. Článek popisuje možný postup ověření spolehlivosti důlní výztuže podle ČSN EN 1991-1-3.

Poděkování

Článek byl vypracován v rámci řešení úloh začleněných do VZ 6840770001 Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí. Autoři tuto podporu vysoce oceňují.

DR. ING. JAKUB DOLEJŠ, dolejs@fsv.cvut.cz,
ČVUT Fakulta stavební,
ING. MICHAL SEDLÁČEK, Ph.D., sedlacek@ko-ka.cz,
KO-KA, s. r. o.

Recenzoval: doc. Ing. Petr Janas

the preceding calculation was 19.2 kN, which is significantly less.

4 CONCLUSION

Traditional rolled steel sections for colliery support frames have been used till now for its advantages (the immediate ability to carry loads, geometrical variability, simple assembly).

With respect to the transition from CSN standards line to CSN EN line, it is necessary to design and assess rolled colliery steel supports according to currently valid standards, Eurocodes. The procedure for assessing support frames according to the Eurocode, if compared with the original procedures, is more complicated. It is usually necessary first to carry out a stability calculation and select the next procedure subsequently, on the basis of its result. On the other hand, the modern approach makes better use of the cross-section material (plastic assessment), thus even a more economic design is possible.

In the numerical example above, the contribution of the plastic assessment did not materialise – the cross-section usage rate even at the plastic assessment was less than 40 per cent. However, it is necessary when solving a general task for mining frames to adhere to the rules contained in [1], because it is possible at a certain combination of input quantities (the frame geometry, loading intensity, proportion between vertical and horizontal loads, the support rigidity etc.) that the structure may behave in a significantly different way. Even the structure dealt with in the above-mentioned numerical example displayed the initial stability buckling eigenmode corresponding to a structure with sliding joints, despite the fact that it is a support frame located in a relatively stable ground. Anticipating the behaviour of a structure in ground with different parameters is very difficult. The paper describes a possible method of verifying the reliability of mining support frames according to ČSN EN 1991-1-3.

Acknowledgements

The paper was prepared within the framework of the solution of problems incorporated into VZ 6840770001 Reliability, optimisation and durability of building materials and structures. The authors highly appreciate this support.

DR. ING. JAKUB DOLEJŠ, dolejs@fsv.cvut.cz,
ČVUT Fakulta stavební,
ING. MICHAL SEDLÁČEK, Ph.D., sedlacek@ko-ka.cz,
KO-KA, s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006, vč. Změny NA ed. A, ČNI 2007, Opravy Opr. 1, ÚNMZ 2010, Změny Z1, ÚNMZ, 2010
- [2] ČSN P ENV 1993-1-1 (73 1401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [3] ČSN 44 2601 Důlní ocelová výztuž – společná ustanovení
- [4] Katalog důlní ocelové výztuže – Mittal Steel Ostrava, a. s.
- [5] Katalog důlní ocelové výztuže – KABEDEX, s. r. o.
- [6] ČSN 41 1500 – Ocel 11 500
- [7] DIN 21544 Stahl für Grubenausbau
- [8] ČSN 44 2005 – Překopy a chodby – Rozměry světlých průřezů
- [9] JANAS, P., BLÁHA, F. Dimenzování ocelové výztuže dlouhých důlních děl, křížů a odboček. Uhlí 1987, číslo 9
- [10] ČSN 44 4410-4 Zkoušení důlní ocelové výztuže; Část 4: Zkoušení spojů
- [11] DIN 21530-4 Ausbau für den Bergbau; Teil 4 : Prufungen
- [12] ČSN 73 7501 Navrhování konstrukcí ražených podzemních objektů
 Software: SCIA ENGINEER 2010.1 <<http://www.scia-online.com/cs/>>

PRŮZKUMNÉ ŠTOLY VYUŽITÉ PRO VÝSTAVBU DOPRAVNÍCH TUNELŮ V ČR

EXPLORATORY GALLERIES USED FOR CONSTRUCTION OF TRANSPORT TUNNELS IN THE CR

MARTIN SRB, MATOUŠ HILAR

1 ÚVOD

Provedení průzkumné štoly před ražbou tunelu je využíváno pro získání detailních geotechnických informací relevantních pro návrh a realizaci budoucího podzemního díla. V posledních dvaceti letech od roku 1990 byly v České republice zahájeny a dokončeny ražby 14 silničních a 13 železničních tunelů s celkem cca 35 km tunelových trub. U dvanácti z nich, a zároveň u všech delších tunelů, byly před zahájením stavby provedeny průzkumné štoly v částečné, nebo plné délce budoucích tunelů (obr. 1). Vzhledem ke zvýšené investiční náročnosti a prodloužení doby výstavby u tunelových projektů s průzkumnými štolami je nutné diskutovat otázku přínosu a vhodnosti těchto štol pro realizaci budoucích tunelů.

Následující článek přináší přehled silničních a železničních tunelových projektů a jejich průzkumných štol realizovaných pomocí NRTM v období 1990–2011 v České republice (obr. 1). Jsou prezentovány základní parametry štol a budoucích tunelů. Tunely jsou řazeny v chronologickém pořadí podle období výstavby. Protože ve zkoumaném období došlo také k řadě havárií během výstavby dopravních tunelů, což úzce souvisí s diskutovanou problematikou, tak jsou v článku uvedeny i výskyty významnějších havárií.

2 PŘEHLED DOPRAVNÍCH TUNELŮ S PRŮZKUMNÝMI ŠTOLAMI

2.1 Tunel Hřebeč (1995–1996, průzkumná štola 1994)

Tunel Hřebeč je obousměrný, třípruhový silniční tunel na silnici I/35 u Svitav o délce raženého tunelu 275 m. Tunel s nadloží do 20 m byl ražen ve složitých geologických podmínkách křídových sedimentů opuk, jílovců a pískovců.

Průzkumná štola byla provedena jeden rok před zahájením ražeb v rámci průzkumných prací. Profil průzkumné štoly byl navržen ve tvaru pravého bočního opěrového tunelu budoucího tunelového profilu a štola byla vyražena v délce 50 m od východního portálu dovnitř.

Ražba z východního portálu byla zahájena levým opěrovým tunelem na délku cca 80 m a poté propojením v hoře do průzkumné štoly, vytvořením profilu kaloty a ražbou kaloty zpět k východnímu portálu. Při přiblížení k portálu došlo k zavalení tunelu skalním zřícením portálu. Stavba tunelu byla závažně zdržena přibližně o jeden rok. Ražba po závalu byla prováděna ze západního portálu úpadně. Nezavalená část kaloty byla zpřístupněna šachtou z povrchu.

2.2 Tunel Mrázovka (1998–2002, průzkumné štoly 1995–1998)

Tunel Mrázovka zahrnuje dvě jednosměrné tunelové trouby ražené v třípruhovém profilu, dvoupruhové a jednopruhové části tunelu, rozplety, 5 tunelových propojek, dále objekty trafostanice a strojovny vzduchotechniky, která vyústíje do větrací šachty.

1 INTRODUCTION

Exploratory galleries are driven prior to constructing tunnels with the aim of gathering geotechnical information relevant to the design and implementation of the future underground working. During the previous 20 years, from 1990, driving of 14 road tunnels and 13 railway tunnels at the aggregate length of about 35 km was commenced and completed in the Czech Republic. Exploratory galleries were driven for twelve of them, among them all of the longest ones, before the commencement of the tunnel construction itself, running throughout the full tunnel length or along a part of the future tunnel length (see Fig. 1). Taking into consideration the increased project costs and extended construction time of the tunnelling projects comprising exploratory galleries, it is necessary to discuss the issue of the benefit and suitability of these galleries for the construction of the future tunnels.

This paper brings a summary of all road and railway tunnel projects and exploratory galleries driven for them by the NATM within the 1990 – 2011 period in the Czech Republic (see Fig. 1). They are presented by means of basic parameters of the galleries and future tunnels. The tunnels are arranged in a chronological order, according to the construction time. Since several incidents happened during the period of the transport tunnels construction being surveyed, which is a problem closely associated with the problems discussed in this paper, the more serious incidents are also mentioned.



Obr. 1 Orientační poloha silničních a železničních tunelů s průzkumnými štolami realizovaných NRTM v letech 1990–2010 na mapě ČR (1 – Panenská, 2 – Prackovice, 3 – Mrázovka, 4 – Valík, 5 – Slivenec SOKP 514, 6 – Komořany SOKP 513, 7 – Královopolský)

Fig. 1 Orientative locations of road tunnels and rail tunnels with exploratory galleries, built by the NATM from 1990 – 2010 in the map of the CR (1 – Panenská, 2 – Prackovice, 3 – Mrázovka, 4 – Valík, 5 – Slivenec SOKP 514, 6 – Komořany SOKP 513, 7 – Královo Pole)



Obr. 2 Průzkumná štola tunelu Valík
Fig. 2 Exploratory gallery for the Valík tunnel

Délka tunelu je přibližně 1300 m, celková délka ražených částí je přibližně 2200 m.

Průzkumná štola byla ražena před ražbou vlastní západní tunelové trouby v její ose směrem od severního portálu. U severního portálu byla štola situována uprostřed výšky profilu budoucího silničního tunelu a postupně přecházela do vrcholu jeho klenby. Vzhledem k různé relativní poloze štoly vůči tunelové troubě byl částečně změněn i její tvar (méně klenutý strop štoly umístěné ve vrcholu kaloty). Celková délka průzkumné štoly v ose západní tunelové trouby byla 800 m. V oblasti ulice Ostrovského a před rozpletem byla vyražena průzkumná štola i v ose východní tunelové trouby (ražba z budované západní trouby, délka cca 400 m). Z průzkumné štoly byla v několika oblastech provedena zpevňující injektáž.

Během ražeb západní a východní trouby v oblasti severního portálu deformace výrazně překračovaly předpokládané hodnoty, deformace ostění se však úspěšně podařilo stabilizovat.

2.3 Tunel Valík (2004–2005, průzkumná štola 2002)

Tunel Valík se nachází na dálnici D 5 z Prahy do Rozvadova na obchvatu města Plzeň. Dálniční tunel je 380 m dlouhý, tunel tvoří dvě tunelové trouby šířky 11,5 m. Trouby jsou umístěny těsně vedle sebe bez horninového pilíře, což vedlo k úspoře záboru pozemků, ale současně to znamenalo obtížnější ražbu. Ražené tunelové trouby mají délku 330 m. Ražba byla realizována ve zvětralých až silně zvětralých, tektonicky rozpukaných proterozoických břidlicích.

Průzkumná štola s profilem 15 m² byla budována v profilu budoucího středního tunelu s profilem cca 71 m² (kalota 50 m² a spodní klenba cca 21 m²) v celé délce tunelu (obr. 2). Ve středním tunelu byl vybudován monolitický betonový pilíř sloužící jako opěra pro primární ostění při ražbě vlastních tunelových trub.

Při ražbě středního tunelu se s postupem ražby odstraňovalo ostění štoly. Průzkumná štola, umístěná v profilu středního tunelu, měla příznivý vliv na ražbu středního tunelu, jelikož působila jako kotva zvyšující stabilitu čelby středního tunelu.

2.4 Tunel Panenská (2003–2005, průzkumná štola 2001–2002)

Tunel Panenská je součástí dálnice D 8, která vede z Prahy kolem Lovosic a Ústí nad Labem na státní hranici se SRN. Tunel má dvě dvoupruhové tunelové trouby spojené propojkami. Délka

2 SUMMARY OF TRANSPORT TUNNELS WITH EXPLORATORY GALLERIES

2.1 The Hřebeč tunnel (1995 – 1996, exploratory gallery 1994)

The Hřebeč tunnel is a bi-directional triple-lane tunnel on the I/35 road near Svitavy, with the length of the mined section of 275 m. The tunnel with the overburden up to 20 m high was driven in complicated geological conditions formed by Cretaceous sediments of cretaceous marl, mudstone and sandstone.

The exploratory gallery was carried out one year before the commencement of the tunnel excavation, within the framework of geological and geotechnical exploration. The profile of the exploratory gallery was designed to follow the shape of the right-hand side-wall drift within the future tunnel profile. The gallery was driven at the length of 50 m, uphill from the eastern portal.

The excavation from the eastern portal started on the left-hand side-wall drift at the length of about 80 m. Then it was interconnected inside the rock mass with the exploratory gallery, forming the top heading profile. The excavation proceeded back toward the eastern portal. When the portal was being approached, the tunnel collapsed as the result of a failure of the rock mass at the portal. The tunnel construction was delayed for approximately one year. After the collapse the excavation proceeded downhill from the western portal. The part of the tunnel which was not affected by the collapse was made accessible through a shaft sunk from the surface.

2.2 The Mrázovka tunnel (1998 – 2002, exploratory galleries 1995 – 1997)

The Mrázovka tunnel comprises two unidirectional tunnel tubes, each with a triple-lane profile, two-lane and single-lane sections, bifurcation chambers, 5 cross passages, a cavern for a transformer station and a cavern for ventilation plant, which is connected to a ventilation shaft. The tunnel is roughly 1,300 m long; the total length of the mined sections is about 2,200 m.

The exploratory gallery was driven prior to the western tunnel tube excavation, following the tunnel centre line, from the western portal. At the northern portal, the gallery excavation was situated at the centre of the future road tunnel and gradually passed to the vault crown. With respect to the varying relative position of the gallery relative to the tunnel tube alignment, the cross-section geometry was partially modified (the radius of the gallery vault was increased at the future tunnel top). The total length of the exploratory gallery running on the centre line of the western tunnel tube was 800 m. In the area of Ostrovského Street and before the bifurcation, an exploratory gallery was driven even on the centre line of the eastern tunnel tube (about 400 m long excavation starting from the western tunnel tube being carried out). Consolidation grouting was carried out from several locations of the exploratory gallery.

During the course of the excavation of both the western and eastern tunnel tubes in the area of the northern portal, deformations significantly exceeded the expected values. The contractor succeeded in stabilising them.

2.3 The Valík tunnel (2004 – 2005, exploratory gallery 2002)

The Valík tunnel is found on the D5 motorway from Prague to Rozvadov, on a by-pass around the city of Plzeň. This 380 m long motorway tunnel consists of two 11.5 m wide tunnel tubes. The tubes run side by side, without a rock pillar. This design led

raženého tunelu je cca 2 km. Tunel byl ražen v prostředí tektonicky porušeného rulového krystalinika prostoupeného žilnými tělesy žulových porfyřů.

Vlastní výstavbě tunelů Panenská předcházely podrobný geologický průzkum včetně ražby dvou průzkumných štol z severního a jižního portálu budoucího tunelu. Ražba průzkumných štol byla zahájena v září 2001 a dokončena v říjnu 2002. Plocha výrubu štol byla 23,5 m² a celková délka štol byla 300 m (150 m z každé strany). Ražba štol a tunelu probíhala bez výraznějších problémů.

2.5 Tunel Březno (2002–2007, průzkumná štola 1996)

Jednokolejný železniční tunel Březno se nachází na železniční trati na úseku Březno u Chomutova – Chomutov, celková délka raženého tunelu je 1478 m, celková délka tunelu je 1758 m. Tunel s nadloží do 30 m byl ražen v obtížných geologických podmínkách, které zahrnovaly převážně značně plastické jíly a jílovce. Hladký povrch četných diskontinuit způsoboval nízkou stabilitu oblasti nevyztuženého výrubu. Dalším významným faktorem bylo ovlivnění masivu v oblasti portálů předchozí důlní činností. Pokryvné útvary (šterkopísky) zasahovaly do hloubky cca 6 m. Stavba tunelu začala v roce 2002 pomocí metody obvodového vrubu s předklenbou (MOVP). V roce 2003 po vyražení 860 m tunelu pomocí MOVP došlo k závalu tunelu. Zbývající část tunelu byla vyražena tzv. sekvenční metodou (obdoba NRTM), v této části došlo ke dvěma závalům, které se propagovaly až na povrch. V místě zasypaného stroje Perforex byla zbudována úniková šachta. Tunel byl uveden do provozu v roce 2007.

V průběhu přípravy projektu byla v roce 1996 vyražena „průzkumná štola“ mimo trasu budoucího tunelu, ve východní části skryvkového řezu lomu Libouš. Tato štola měla ověřit především vlastnosti horninového masivu a jeho krátkodobé a dlouhodobé deformační vlastnosti, stanovit výpočtové parametry a umožnit vytvoření realistického numerického modelu.

2.6 Tunel Nové spojení – Vítkovské tunely (2005–2006, průzkumná štola 2002)

Železniční tunely nového spojení mezi Hlavním nádražím a stanicemi Libeň, Vysočany a Holešovice jsou tvořeny dvěma dvoukolejnými tunely délky 1250 m a 1150 m. Ražba probíhala v tektonicky ovlivněných vrstvách břidlic a křemenců bez větších problémů.

U západního portálu tunelů byla provedena 20 m hluboká šachta a z ní rozrážka, která měla zachytit předpokládaný styk odlišných geologických formací tzv. Pražského zlomu. Rozrážka umístěná do profilu kaloty budoucího jižního dvoukolejného tunelu byla cca 100 m dlouhá o velikosti příčného profilu 10 m². Realizace této průzkumné štoly byla provedena na žádost BÚ, Pražský zlom touto štolou zachycen nebyl.

2.7 Tunel Komořany SOKP 513 (2007–2009, průzkumná štola 2003–2004)

Tunel Komořany se skládá ze dvou jednosměrných tunelových trub, tunel tvoří část jihozápadního segmentu celého Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP). Klesající tunelová trouba je dvoupruhová, stoupající trouba je třípruhová, délka ražené části tunelu je 1680 m. Geotechnické poměry pro ražbu byly příznivé, při ražbě byly zastíženy horniny ordovického souvrství, které jsou charakteristické flyšovým vývojem. Jedná se o nepravidelné střídání křemenců a břidlic. Výstavba tunelů byla zahájena v roce 2007 dovrchní ražbou nejdříve jižní třípruhové tunelové trouby z průzkumné štoly. Následně započala dovrchní ražba i severní dvoupruhové tunelové trouby.

to reducing the area of the total plan area of the permanent works but, at the same time, to more difficult tunnelling work. The mined tunnel tubes are 330 m each. The excavation passed through weathered to heavily weathered, tectonically fractured Proterozoic shales.

The exploratory gallery with the cross-sectional area of 15 m² was driven within the profile of the future central tunnel with the cross-sectional area of 71 m² (top heading 50 m² and invert about 21 m²), throughout the tunnel length (see Fig. 2). A concrete pillar fulfilling the role of a support for the primary lining during the excavation of the tunnel tubes themselves, was cast in the central tunnel.

The gallery lining was being removed during the course of the advancing central tunnel excavation. The exploratory gallery position within the central tunnel cross-section favourably affected the excavation of the central tunnel, acting as an anchor increasing the stability of the central tunnel excavation face.

2.4 The Panenská tunnel (2003 – 2005, exploratory gallery 2001 – 2002)

The Panenská tunnel is part of the D8 motorway leading from Prague around Lovosice and Ústí nad Labem to the border with the FRG. The tunnel comprises two double-lane tunnel tubes interconnected by cross passages. The mined section is about 2.0 km long. The tunnel was driven in an environment formed by a faulted gneiss crystalline complex with pervasive granitic porphyry vein bodies.

The construction of the Panenská tunnels construction was preceded by a detailed geological survey, inclusive of the excavation of two exploratory galleries, carried out from both the northern and southern portals of the future tunnel. The excavation of the exploratory galleries started in September 2001 and finished in October 2002. The excavated cross-sectional areas of the galleries were 23.5 m²; the aggregate length of the galleries was 300 m (150 m from each side). The excavation of the galleries and the tunnel proceeded without more significant problems.

2.5 The Březno tunnel (2002 – 2007, exploratory gallery 1996)

The Březno single-track railway tunnel is found on the track section between Březno u Chomutova and Chomutov. The total length of the mined tunnel and the total length of the tunnel are 1,478 m and 1,758 m, respectively. The tunnel with the overburden height up to 30 m was driven in complicated geological conditions, consisting mainly of highly plastic clays and mudstone. Polished surfaces of numerous discontinuities caused low stability of unsupported excavation. Another important factor was the effect of previous mining activities on the rock mass in the portal areas. The cover (gravel-sand) reached down to the depth of about 6 m. The tunnel construction started in 2002, using the Mechanical Pre-cutting Method (MPM). In 2003, after completing 860 m of the drive using the MPM, the tunnel collapsed. The remaining part of the tunnel was driven by a sequential method (an analogy to the NATM). Two collapses propagating themselves up to the surface happened on this section. An escape shaft was sunk in the location of the buried Perforex machine. The tunnel was commissioned in 2007.

During the project planning stage, in 1996, an “exploratory gallery” was driven off the alignment of the future tunnel, in the eastern part of the overburden slope of the Libouš opencast mine. The objective of this gallery was first of all to verify



Obr. 3 Průzkumná štola tunelu Komořany
Fig. 3 Exploratory gallery for the Komořany tunnel

Koncem roku 2007 započala úpadní ražba obou tunelových trub ze stavební jámy Cholupice, takže se razila současně ražba na 4 čelbách. Tunel byl uveden do provozu v roce 2010.

U dané stavby bylo rozhodnuto provést průzkumnou štolu v celé délce, protože nejobtížnější geotechnické poměry byly očekávány ve střední části, kde měla být také umístěna větrací šachta. Tvar štoly a její umístění v profilu tunelu se v průběhu přípravy upravovaly. Realizovala se štola o velikosti cca 25 m² soudkového tvaru, umístěná do osy kaloty třípruhového tunelu s nadvýšeným stropem, který zůstal jako „ztracený“ při ražbě plného profilu (obr. 3). Portály štoly byly posunuty až do míst hloubených portálů tunelu z důvodu plochy zařízení staveniště limitované výkupem pozemků, přístupem na ně a zpožděním přeložky frekventované komunikace Komořanská. Štola byla delší než ražený tunel v Cholupicích o 56 m a v Komořanech o 175 m. Součástí štoly byly také rozšířené úseky tvaru plného profilu kaloty o délkách přibližně 30 m.

2.8 Tunel Slivenec SOKP 514 (2006–2008, průzkumná štola 2004)

Tunel Slivenec se skládá ze dvou jednosměrných tunelových trub. Tunel je součástí Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP). Levá (jižní) klesající tunelová trouba ražená délky 1290 m je dvoupruhá. Pravá (severní) stoupající tunelová trouba ražená délky 1240 m je třípruhová, sklon tunelu je cca 4 %. Obě tunelové trouby jsou propojeny sedmi propojkami ve vzdálenostech 200 m. Tunel byl ražen v ordovických a silurských horninách, které byly tektonicky porušeny a prostoupené zlomovými a vrásovými poruchami. V úvodní části úpadní ražby tunelu od portálu Lochkov byly zastíženy především vápnité břidlice, doplněné četnými vložkami vápenců, a posléze i bazaltové tufy. Druhá polovina ražeb probíhala střídavě v břidlicích, pískovcích, případně tufech. Tunel byl uveden do provozu v roce 2010.

Štola o profilu 25 m² soudkového tvaru byla navržena jako stropní v pravém stoupajícím třípruhovém tunelu na celou délku tunelu (obr. 4). Výška štoly odpovídala výšce budoucí kaloty a byla nadvýšena podobně jako u štoly SOKP 513. Ve štole bylo realizováno sedm zvětšených geotechnických profilů na celou šířku kaloty v délkách 12 až 42 m s plochou výrubu cca 66 m², které byly využívány po dobu ražby i jako výhybny. Ražba štoly byla realizována v roce 2004.

properties of the rock mass and short-term and long-term deformational properties of the mass, to determine calculation parameters and make the development of a realistic numerical model possible.

2.6 New Connection tunnels – the Vítkov tunnels (2005 – 2006, exploratory gallery 2002)

The rail tunnels providing a new link between Hlavní Nádraží, the main Prague station, and stations in Prague districts of Libeň, Vysočany and Holešovice. The project consists of two double-track tunnels 1,250 m and 1,150 m long, respectively. The excavation passed through tectonically affected shale and quartzite strata, without more significant problems.

A 20 m deep shaft was sunk at the western portal of the tunnels and an opening drift was driven from it. The drift was expected to encounter an anticipated interface between different geological formations of the Prague Fault. The opening drift driven along the top heading of the future southern double-track tunnel was about 100 m long, with the cross-sectional area of 10 m². This exploratory gallery was driven at the request of the Bureau of Mines; the Prague Fault was not encountered by the gallery.

2.7 The Komořany tunnel, constr. lot 513 of the Prague City Ring Road (2007 – 2009, exploratory gallery 2003 – 2004)

The Komořany tunnel consists of two unidirectional tubes; it is part of the south-western segment of the Prague City Ring Road project. The descending tunnel tube has two traffic lanes, while the ascending tube contains three lanes. The mined part of the tunnel is 1,680 m long. Geotechnical conditions were favourable for the tunnel excavation. Ordovician strata were encountered during the excavation, which are typified by the flysch background, i.e. the alternation of quartzite and shale. The tunnel construction started in 2007, driving the tubes uphill, first the southern triple-lane tunnel tube from the exploratory gallery. The uphill excavation of the northern, double-lane tube followed. At the end of 2007 the downhill excavation of both tunnels commenced from the Cholupice construction trench, which means that 4 headings were operating simultaneously. The tunnel was opened to traffic in 2010.

A decision regarding the particular construction was made that an exploratory gallery would be driven throughout the tunnel length because the most difficult geotechnical conditions were expected to be encountered in the central section, where a ventilation shaft was to be sunk. The geometry of the gallery cross-section and its position within the tunnel cross-section were adjusted during the planning phase. The gallery which was constructed was 25 m² in the barrel-shaped cross-section; it was driven along the top heading centre line of the future triple-lane tunnel top heading. The top of the gallery was higher than the top of the tunnel. The lining of the crown remained as a sacrificial structure when the full tunnel profile was being excavated (see Fig. 3). The gallery portals were shifted to the positions of portals of cut-and-cover tunnels because of the area required for the site facility, which was limited by the acquisition of land plots, access to them and a delay in the construction of a diversion of the busy Komořanská road. The gallery was longer than the mined tunnel by 56 m and 175 m in Cholupice and Komořany, respectively. Part of the gallery were approximately 30 m long sections where the profile was expanded to copy contour of the full tunnel top heading.

2.9 Královopolský tunel (2006–2010, průzkumné štoly 2002–2003)

Stavbu tvoří dva paralelní dvoupruhové tunely ražených délek cca 1050 m, které jsou součástí brněnského velkého městského okruhu (VMO). Ražba probíhala v tuhých až pevných plastických neogenních jílech pomocí mnohonásobného členění.

Součástí průzkumu bylo vyražení tří průzkumných štol přibližně trojúhelníkového příčného profilu v prostoru tunelových trub na bocích kaloty (obr. 5), které byly využity při následné výstavbě tunelového díla. Ražba štol probíhala z východního portálu a celková délka průzkumných štol činila přes 2 km (IIA 831 m, IIB 831 m a IB 365 m). Skutečné deformační chování (dlouhodobé, větší než očekávané deformace) průzkumných štol během realizace a především po ní bylo zohledněno v návrhu ražeb plných profilů.

2.10 Tunel Prackovice (2008–2009, průzkumná štola 2004–2005)

Tunel Prackovice je součástí dálnice D 8 v úseku průchodu Českým středohořím mezi Lovosicemi a Řehlovicemi. Tunel má dvě jednosměrné dvoupruhové tunelové trouby a jednu tunelovou propojku. Délka ražené části je cca 150 m, celková délka tunelu je 270 m.

Vlastní výstavbě tunelu Prackovice předcházela podrobná geologická průzkum včetně ražby průzkumné štoly ze šachty provedené v blízkosti severního (pražského) portálu. Ražba průzkumné štoly byla zahájena v prosinci 2004 a dokončena v červnu 2005. Plocha výrubu štoly byla 23,5 m², umístění v profilu budoucí kaloty levé (západní) tunelové trouby (obr. 6) a celková délka štoly byla 170 m. Ražba štoly a tunelu proběhla bez problémů, vyšší deformace jižního (pražského) portálu byly řešeny dodatečnými stabilizačními opatřeními.

2.11 Tunel Královská obora – Špelc (2007–2010, průzkumná štola 2002–2005)

Tunel Královská obora, který je součástí SZ části městského okruhu v Praze mezi Trojou a Letnou, je tvořen dvěma jednosměrnými 2–3pruhovými tunelovými troubami o délkách cca 2230 m.

Průzkumná štola o celkové délce 1950 m je ve své převážné délce vedena v profilu budoucí jižní tunelové trouby (JTT) a umístěna excentricky do vrcholu kaloty budoucího tunelu (obr. 7). Štola s profilem 10,5 m² byla realizována s kolejovou dopravou s výhybnami po 150 m. V úseku s nejnižším nadloží na úpatí svahu z Letné (oblast bývalé Šlechtovy restaurace) a také pod Vltavou byla průzkumná štola ražena i v profilu



Obr. 5 Průzkumná štola Královopolského tunelu
Fig. 5 Exploration gallery for the Královo Pole tunnel



Obr. 4 Průzkumná štola tunelu Slivenec
Fig. 4 Exploratory gallery for the Slivenec tunnel

2.8 The Slivenec tunnel, constr. lot 514 of the Prague City Ring Road (2006 – 2008, exploratory gallery 2004)

The Slivenec tunnel consists of two unidirectional tunnel tubes. The tunnel is part of the Prague City Ring Road project (PCRR). The 1,290 m long mined section of the left-hand (northern) ascending tunnel tube has two traffic lanes. The 1,240 m long right-hand (northern) ascending tunnel tube has three lanes. The longitudinal gradient is about 4 %. The tunnel tubes are interconnected by seven cross passages driven at 200 m spacing. The tunnel was driven through Ordovician and Silurian rocks, which are frequently tectonically broken and interspersed by faults and folds. In the initial section of the downhill excavation of the tunnel from the Lochkov portal, first of all cretaceous shales supplemented by numerous limestone interbeds, and later even basalt tuffs were encountered. The second half of the drives passed alternately through shales, sandstone or tuffs. The tunnel was inaugurated in 2010.

The gallery with the barrel-shaped cross-section of 25 m² was designed as a crown drift following the future right-hand ascending triple-lane tunnel throughout its length (see Fig. 4). The gallery height corresponded to the height of the future tunnel top heading, exceeding the top heading roof level similarly to the gallery for the PCRR 513. Seven 12 to 42 m long geotechnical sections with cross-sections expanded to the full width of the tunnel top heading (excavated cross-sectional areas of about 66 m²) were carried out in the gallery. Among other purposes they were used during the course of the excavation as passing bays. The gallery was driven in 2004.

2.9 The Královo Pole tunnel (2006 – 2010, exploratory galleries 2002 – 2003)

The construction comprises two parallel double-lane tunnels with the lengths of mined sections of about 1,050 m. The tunnels are parts of the Large City Circle Road (LCCR) in Brno. The excavation was carried out through firm to stiff plastic Neogene clays, using an excavation sequence divided into multiple headings.

The excavation of three exploratory galleries was part of the exploration. The galleries with roughly triangular cross-sections



Obr. 6 Průzkumná štola tunelu Prackovice
Fig. 6 Exploration gallery for the Prackovice tunnel

budoucí severní tunelové trouby (STT). V úseku s nízkým nadloží pod parkem Stromovka byla z průzkumné štoly dělána rozsáhlá sanační opatření pro zlepšení podmínek budoucích ražeb.

Během ražeb plných profilů došlo v oblasti Stromovky ke dvěma haváriím, které zdržely ražby a ovlivnily jejich další provádění.

2.12 Tunel Jablůnkov (2007 – nedokončen)

Výstavba nového tunelu Jablůnkov na železniční trati mezi Třincem a Čadcou (SK) spočívá v rozšíření stávajícího jednokolejného tunelu na tunel dvoukolejný v délce 565 m raženého (rozšiřovaného) úseku. Rozšíření bylo prováděno asymetricky s ponecháním původní pravé opěry tunelu.

Průzkumná štola se před ražbou tunelu neprováděla, ale současný tunel umožňoval zjištění geotechnických poměrů v ose díla (podrobnější podklady z ražby původního tunelu nebyly k dispozici).

Ražba kaloty byla provázena dvěma haváriemi, při ražbě opěrů a spodní klenby došlo k zavalení tunelu v délce cca 100 m.

3 TYPY PRŮZKUMNÝCH ŠTOL

Za průzkumné štoly označujeme tunelová liniová podzemní díla, která jsou zpravidla umístěna v profilu budoucího tunelu. Průzkumné štoly jsou součástí geotechnického průzkumu. Velikost těchto liniových podzemních staveb není omezena a název „štola“ je užíván i u profilů větších, než je obvyklá formální hranice 16 m².



Obr. 7 Průzkumná štola tunelu Královská obora
Fig. 7 Exploratory gallery for the Královská Obora tunnel

were driven on the sides of the future tunnel top heading (see Fig. 5). They were used during the subsequent construction of the tunnels. The galleries were driven from the eastern portal. The total length of the exploratory galleries exceeded 2 km (IIA 831 m, IIB 831 m and IB 365 m). The actual deformational behaviour (long term deformations larger than expected deformations) of the exploratory galleries during the construction and, first of all, after the construction, was allowed for in the design for the excavation of full profiles.

2.10 The Prackovice tunnel (2008 – 2009, exploration gallery 2004 – 2005)

The Prackovice tunnel is part of the D8 motorway in the section passing across the České Středoohoří highland between Lovosice and Řehlovice. The tunnel consists of two unidirectional tubes and one cross passage. The length of the mined part is 150 m, the total tunnel length is 270 m.

The Prackovice construction itself was preceded by a detailed geological survey, including the excavation of an exploratory gallery from a shaft sunk in the vicinity of the northern (Prague) portal. The excavation of the exploratory gallery commenced in December 2004 and was finished in June 2005. The cross-sectional area of the gallery was 23.5 m². The gallery alignment followed the future top heading of the left-hand (western) tunnel tube (see Fig. 6). The total length of the gallery was 170 m. Both the gallery and the tunnel were driven without problems; larger deformations of the southern (Prague) portal were solved by additional stabilisation measures.

2.11 The Královská Obora – Špelc tunnel (2007 – 2010, exploratory gallery 2003 – 2005)

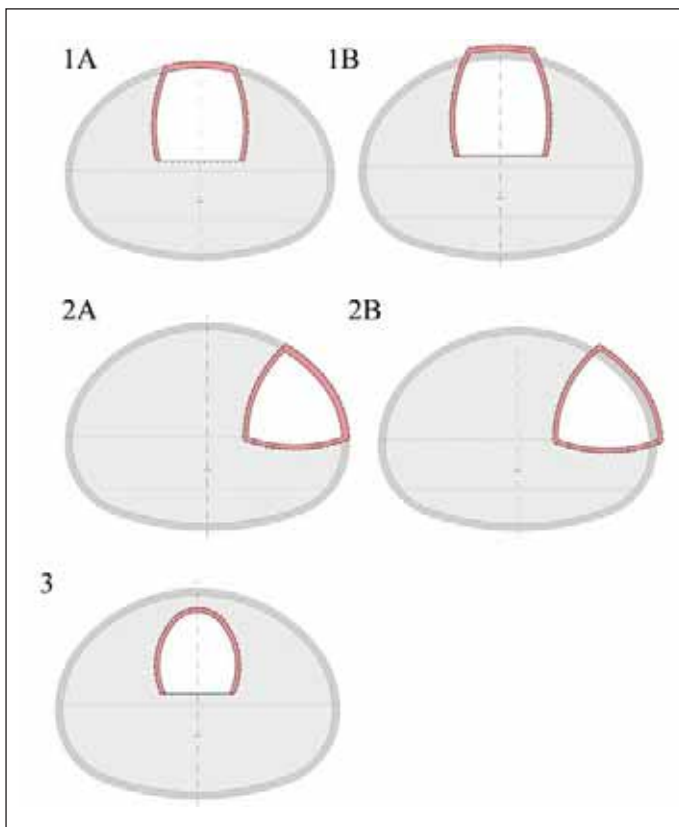
The Královská Obora tunnel, which is part of the NW segment of the City Circle Road (the inner ring) in Prague between Stromovka Park and Letná, consists of two unidirectional double- and triple-lane tunnel tubes with the lengths of about 2,230 m.

The exploratory gallery with the total length of 1,950 m runs along the prevailing proportion of its length within the profile of the future southern tunnel tube (STT); it is positioned eccentrically at the crown of the top heading of the future tunnel (see Fig. 7). The gallery with the cross-sectional area of 10.5 m² was constructed using rail-bound transport and passing bays provided at intervals of 150 m. In the section with the shallowest cover at the bottom of the slope from Letná, the exploratory gallery was even driven within the profile of the future northern tunnel tube (NTT). In the section with the shallow cover under Stromovka Park, extensive stabilisation measures designed to improve conditions for the future tunnelling were implemented from the exploratory gallery.

Two collapses happened in the area of Stromovka during the course of the excavation of the full profiles. They delayed the excavation and influenced the subsequent excavation procedure.

2.12 The Jablůnkov tunnel (2007 – not completed)

The construction of the new Jablůnkov tunnel on the rail track section between Třinec and Čadca (the SR) lies in enlarging the width of the existing single-track tunnel, converting it into a double-track tunnel with the length of the mined (expanded) section of 565 m. The expansion was carried out asymmetrically, leaving the original right-hand sidewall of the tunnel in place.



Obr. 8 Umístění a tvary průzkumných štol a jejich příklady (1 – SOKP 513, SOKP 514, 2 – Královopolský Brno, 3 – Mrázovka, Královská obora, Prackovice)

Fig. 8 Positions and geometries of exploratory galleries and their examples (1 – PCRR 513, PCRR 514; 2 – Královo Pole tunnel, Brno; 3 – Mrázovka, Královská Obora, Prackovice tunnels)

Z hlediska umístění byly v uváděných případech průzkumné štoly nejčastěji realizovány v následujících polohách a tvarech (obr. 8):

- 1 – Štola soudkovitého tvaru v ose kaloty – s nenadvýšeným (1A) či nadvýšeným (1B) stropem.
- 2 – Štola trojúhelníkového tvaru v oblasti opěrového (bočního) tunelu – s nenadvýšeným (2A) či nadvýšeným (2B) stropem.
- 3 – Štola podkovovitého tvaru v oblasti kaloty (s nadvýšeným či nenadvýšeným stropem).
- 4 – Štola umístěná mimo profil tunelu (paralelní s tunelem) využitelná při provozu tunelu pro účely úniku osob, větrání či odvodnění.
- 5 – Štola umístěná mimo profil tunelu (neparalelní s tunelem) sloužící během ražeb jako přístupová štola.

4 PŘÍNOS PRŮZKUMNÝCH ŠTOL PRO SNÍŽENÍ GEOTECHNICKÉHO RIZIKA

Z přehledu (tab. 1) vyplývá, že u všech tunelů v ČR s ražbami delšími než 1 km byla provedena průzkumná štola. Průzkumné štoly jsou považovány za nejpodrobnější způsob geotechnického průzkumu před zahájením ražby tunelu. Zajímavá je skutečnost, že skoro u všech větších závalů dopravních tunelů v ČR byla před zahájením ražby realizována průzkumná štola, v případě tunelu Jablůnkov byl k dispozici stávající tunel, pouze v případě tunelu Brusnice (Blanka – MyPra) nebylo provedeno žádné podzemní průzkumné dílo. Z této skutečnosti je zřejmé, že samotné provedení průzkumné štoly, často i s provedenou sanací horninového masivu, ještě nezaručuje úplnou bezpečnost ražeb.

Aby byla realizace průzkumné štoly přínosná z hlediska geotechnické bezpečnosti a zároveň ceny projektu, musí splnit následující požadavky:

No exploration gallery was driven prior to the tunnel excavation because the existing tunnel allowed the designer to identify geotechnical conditions on the tunnel centre line (more detailed technical background from the construction of the original tunnel was not available).

The excavation of the top heading was affected by two incidents. The tunnel collapsed during the bench and invert excavation at the length of about 100 m.

3 EXPLORATION GALLERY TYPES

Exploratory galleries are linear underground tunnel workings which are usually driven following the profile of the future tunnel. Exploratory galleries are parts of geotechnical investigation. Sizes of these linear underground structures is not limited; the term “gallery” is used even for profiles larger than the usual formal limit of 16 m².

From the aspect of their position, the exploratory galleries mentioned in this paper were most frequently driven in the following positions within the future tunnel cross-section, with the following geometries (see Fig. 8):

- 1 – A barrel-shape gallery following the top heading centre line – with its roof at the same level as the tunnel roof (1A) or higher than the tunnel roof (1B).
- 2 – A triangular cross-section gallery driven in the area of the sidewall drift – with its roof at the same level as the tunnel roof (2A) or higher than the tunnel roof (2B).
- 3 – A horseshoe shaped cross-section gallery driven within the area of the top heading – with its roof at the same level as the tunnel roof or higher than the tunnel roof.
- 4 – A gallery driven outside the tunnel profile (in parallel with the tunnel), which can be used during the tunnel operation for escape, ventilation or drainage purposes.
- 5 – A gallery running outside the tunnel cross-section (non-parallel with the tunnel), which is used during the tunnel excavation as an access gallery.

4 CONTRIBUTION OF EXPLORATORY GALLERIES TO REDUCING GEOTECHNICAL RISKS

It follows from the summary (see Table 1) that an exploratory gallery was carried out for all tunnels in the CR where the mined sections were longer than 1 km. Exploratory galleries are considered to be the most detailed way of geotechnical investigation available before starting the tunnel excavation. It is an interesting fact that an exploratory gallery was driven before commencing the tunnel excavation nearly in all cases of bigger collapses of transport tunnels in the CR; in the case of the Jablůnkov tunnel there was the existing tunnel available. The only case where no underground exploratory working was carried out was the Brusnice tunnel (Blanka – MyPra). This fact suggests that the excavation of an exploratory gallery itself, often combined with the stabilisation of the rock mass, does never guarantee complete safety of the excavation.

For the implementation of an exploratory gallery to be beneficial in terms of geotechnical safety and, at the same time, the construction cost, it must meet the following requirements:

- The level of geotechnical information necessary for a quality design and execution of the works must be improved (geotechnical parameters, deformational behaviour and rock mass stability, water inflows etc.).
- The above information must be made provisions for in the geotechnical design so that the work effectiveness is increased and all risks are diminished.
- A structure reinforcing the rock mass and increasing the stability of the excavation face, possibly even supporting a part of the top heading, must be created.

Tab. 1 Přehled silničních a železničních tunelů realizovaných v letech 1990–2010 v České republice
Table 1 Summary of road tunnels and rail tunnels constructed from 1990 to 2010 in the Czech Republic

Silniční tunely Road tunnels	Zahájení ražby Excavation commencement	Dokončení ražby Excavation completion	Délka ražeb (m) Excavation length (m)	Průzkumná štola Exploratory gallery	Havárie při ražbě Excavation incidents
Hřebeč	1995	1996	275	ano / yes	ano / yes
Pisárecký	1995	1997	600	ne / no	ne / no
Mrázovka	1999	2002	2 200	ano / yes	ne / no
Valík	2004	2005	660	ano / yes	ne / no
Panenská	2003	2005	4 000	ano / yes	ne / no
Libouchec	2005	2006	900	ne / no	ne / no
Klimkovice	2004	2006	1 740	ne / no	ne / no
SOKP 514	2006	2008	2 550	ano / yes	ne / no
SOKP 513	2006	2008	3 350	ano / yes	ne / no
Prackovice	2008	2009	300	ano / yes	ne / no
Královopolské	2006	2010	2 100	ano / yes	ne / no
Radejčín	2009	2010	1 150	ne / no	ne / no
Královská obora (Blanka, Špelc)	2007	2010	4 400	ano / yes	ano / yes
Brusnice (Blanka, Mypra)	2009	2011	1 100	ne / no	ano / yes

Železniční tunely Railway tunnels	Zahájení ražby Excavation commencement	Dokončení ražby Excavation completion	Délka ražeb (m) Excavation length (m)	Průzkumná štola Exploratory gallery	Havárie při ražbě Excavation incidents
Březno	2002	2006	1500	mimo tunel / outside tunnel	ano / yes
Vepřek	2003	2003	275	ne / no	ne / no
Krasíkov	2003	2003	1035	ne / no	ne / no
Tatenice	2003	2003	85	ne / no	ne / no
Malá Huba	2003	2004	300	ne / no	ne / no
Hněvkovský I	2004	2005	130	ne / no	ne / no
Hněvkovský II	2004	2005	430	ne / no	ne / no
Nové spojení	2005	2006	2400	ano / yes	ne / no
Zahradnický	2009	2010	1030	ne / no	ne / no
Olbramovický	2009	2010	480	ne / no	ne / no
Jablůnkov (rozšíření / expansion)	2009		610	stávající tunel existing tunnel	ano / yes
Tomický I.	2009	2010	325	ne / no	ne / no
Tomický II.	2010	2011	255	ne / no	ne / no

– podstatně zvýšit úroveň geotechnických informací potřebných pro kvalitní návrh a provádění (geotechnické parametry, deformační chování a stabilita horninového masivu, přítoky vody, atd.),
– tyto informace zohlednit v geotechnickém návrhu tak, aby zvýšily efektivitu provádění a zároveň snížily veškerá rizika,
– vytvořit konstrukci, která zpevňuje horninový masiv, zvyšuje stabilitu čelby, případně zajišťuje část přístropí,
– nezhoršit podmínky ražby v okolí štoly rozvolněním, deformacemi nebo vyplavováním jemnozrnných materiálů.
Správná realizace konvenčně ražených tunelů pomocí NRTM umožňuje flexibilní úpravy způsobu ražby, zajištění výrubu a provádění předstihových a sanačních opatření. Předpokladem

– Excavation conditions in the gallery surroundings must not be worsened as the result of loosening, deformations or suffusion.

Correct construction of conventionally driven tunnels using the NATM makes flexible adjustment of the excavation process, excavation support and execution of stabilisation measures in advance of the excavation possible. A prerequisite for the success is that organisational, demarcation of authority related and contractual conditions exist which permit it.

The question remains whether driving of exploratory galleries for tunnels excavated by the NATM in the CR is necessary from the general geotechnical viewpoint and whether it is beneficial.

je ovšem vytvoření organizačních, kompetenčních a smluvních podmínek, které to umožní.

Otázkou tedy zůstává, jestli je realizace průzkumných štol pro tunely ražené NRTM v ČR z geotechnického hlediska vůbec nutná a zdali je prospěšná.

5 PŘÍNOS PRŮZKUMNÝCH ŠTOL PRO PŘÍPRAVU A REALIZACI BUDOUCÍHO TUNELOVÉHO DÍLA

Příprava a realizace průzkumných štol může mít také jiné než geotechnické důvody, které mohou přinést řadu výhod:

- možnost faktického předstihového zahájení projektu realizací průzkumné štoly na základě báňských a ne stavebních předpisů,
- fixování trasy, styk s veřejností, společenská přijatelnost,
- snazší projednávání a průběh nutných správních procesů,
- předstihové vytvoření podmínek pro budoucí stavbu (zařízení staveniště, komunikace, doprava, energie, média),
- technologické výhody při ražbě (doprava v tunelu, větrání, přístup),
- bezpečnost ražeb (zvýšení stability čelby a přístropí, odvodnění, možnost zpevnění horninového masivu).

Jako hlavní nevýhody lze uvést následující aspekty:

- časová náročnost,
- zvýšení nákladů stavby (pokud výstavba štoly není kompenzována jejím přínosem).

Přínos (negeotechnický) realizované průzkumné štoly pro tunelový projekt a jeho přípravu může být z výše uvedených důvodů velmi významný.

6 ZÁVĚR

Realizace průzkumných štol u větších tunelových projektů v České republice se stala pravidlem. Pro plné využití všech výhod, které průzkumné štoly mohou přinést, je třeba jejich správné zařazení do procesu přípravy, a to především časově, aby získané geotechnické informace mohly být zpracovány a použity pro návrh a zadání projektu.

Zvýšená investiční náročnost při realizaci průzkumné štoly může být kompenzována výhodami, které se ale dají jen obtížně ekonomicky kvantifikovat. Rozhodnutí o realizaci průzkumné štoly na budoucích tunelových projektech v České republice by mělo být založeno na důkladném individuálním posouzení konkrétního projektu.

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TA01011816.

**ING. MARTIN SRB, srb@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o.,**

**DOC. ING. MATOUŠ HILAR, Ph.D., hilar@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o., a FSv ČVUT**

Recenzoval: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

5 CONTRIBUTION OF EXPLORATORY GALLERIES TO PLANNING AND CARRYING OUT FUTURE TUNNEL WORKINGS

Planning and execution of exploratory galleries may even have other reasons than geotechnical ones, which may bring about many benefits, such as:

- a possibility of starting the work on the project in advance by driving the exploratory gallery on the basis of mining regulations instead of building regulations
- fixing of the route, public relations, social acceptability
- easier negotiations and course of the administrative processes necessary
- creating conditions for the future construction in advance (site facilities, communications, transport, energies, media)
- technological benefits during the tunnel excavation (transport in the tunnel, ventilation, access)
- excavation safety (increased stability of excavation face and top heading, drainage, possibility of reinforcing the ground mass)

The following aspect can be presented as the main disadvantages:

- demands for time
- increased construction cost (unless the gallery construction is compensated for by its benefits)

For the above-mentioned reasons, the (non-geotechnical) benefit of a completed exploration gallery for a tunnelling project and its preparation can be very significant.

6 CONCLUSION

Driving exploratory galleries for larger tunnel construction projects in the Czech Republic has become a rule. To the full use of the advantages the exploratory galleries can provide it is necessary to incorporate them properly into the planning process, first of all in terms of time, so that the geotechnical information gained by the galleries can be processed and applied to the design and tender documents.

The increased investment demands during the course of an exploratory gallery can be compensated for by advantages, even though these advantages are hard to economically quantify. A decision on the construction of an exploratory gallery for future tunnel construction projects in the Czech Republic should be based on a thorough individual assessment of the particular project.

This paper was prepared with the support of the TAČR grant TA01011816.

**ING. MARTIN SRB, srb@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o.,**

**DOC. ING. MATOUŠ HILAR, Ph.D., hilar@d2-consult.cz,
D2 Consult Prague, s. r. o., a FSv ČVUT**

LITERATURA / REFERENCES

Autorský kolektiv *Podzemní stavitelství v České republice*. Satra, 2007.

Autorský kolektiv *Tunel Mrázovka*. Satra, 2004.

Klepsatel, F., Kusý, P., Frankovský, M. *Prieskumné štolne pre výstavbu dopravných tunelov, áno–či nie?* Konferencie Geotechnické problémy liniových staveb. STU Bratislava, 1996.

Srb, M. SOKP 514, Tunel Lochkov – Nový model zadávacích podmínek pro výstavbu tunelů a zkušenosti z provádění průzkumné štoly pro ražby plných profilů, *Tunel* 2/2008.

Srb, M. *Průzkumné štoly a havárie tunelů*. Tunelářské odpoledne CzTA 3/2010, Ostrava.

Foto: M. Srb, P. Svoboda, časopis Tunel / Photo: M. Srb, P. Svoboda, Tunel journal

SNIŽOVÁNÍ NÁKLADŮ A ZVYŠOVÁNÍ BEZPEČNOSTI SILNIČNÍCH TUNELŮ

REDUCING COSTS AND IMPROVING SAFETY OF ROAD TUNNELS

PETR POSPÍŠIL

ÚVOD

Současné investice do silniční a železniční infrastruktury jsou v mnoha zemích zpochybňovány. Například švýcarská federální vláda oznámila, že prostředky na provoz a údržbu silniční a železniční infrastruktury docházejí. V Austrálii zbankrotovala řada soukromě financovaných tunelů. V České republice v poslední době vedly politické tlaky k masivnímu snižování rozpočtů. Řada příkladů podobných problémů existuje i v dalších zemích.

Jedním z aspektů, které zvyšovaly náklady mnoha staveb, jsou nové bezpečnostní standardy. Normativní směrnice pro bezpečnostní vybavení tunelů, obzvláště větrání, byly vytvořeny po několika požárech v evropských silničních tunelech před více než deseti lety, hlavně s odvoláním na požáry v tunelu Mont Blanc a Tauernském tunelu v roce 1999. Předpokládá se, že tunely odpovídající novým směrnici se považují za bezpečnější než staré tunely. Avšak ne všechny požadavky skutečně vedou k bezpečnějším tunelům. Do jisté míry se velké částky vynakládají na investice a provoz zařízení, které velmi málo přispívají ke zvyšování bezpečnosti a ani nepřinášejí zlepšení v ostatních směrech. Špatná kvalita prací je naneštěstí běžná a bezpečnostní vybavení často není kompletně vyzkoušené.

Směrnice se často chápou jako striktní zákony. V případě jakékoli škody v důsledku havárie v tunelu vyžadují místní úřady a pojišťovny soulad s platnými směrnici a normami, bez ohledu na jejich užitečnost. Toto myšlení může ve skutečnosti bránit jakémukoli zlepšování. Z toho důvodu je potřebné, aby tyto směrnice a normy byly přepracovány.

Požadavky na bezpečnostní opatření vedoucí k tak vysokým nákladům, že se výstavba tunelu zpožďuje nebo se od ní kvůli finančním omezením ustupuje, by se měly zpochybnit a měly by se porovnat hlavní přínosy tunelu jako takového, jako jsou zvýšení bezpečnosti a kapacity tunelu optimalizací trasování tunelu nebo snížení dopadu na životní prostředí v porovnání s komunikací ve volném terénu.

Namísto následujících závazných předpisů se navrhuje hodnocení bezpečnostních opatření na základě rizik. Bezpečnostní opatření by se měla posuzovat podle nákladů na jejich realizaci a jejich přínosů, pomocí odhadů nákladů na zachráněný život a nákladů na odvrácení škody. V tomto článku je ukázán praktický přístup ke snižování nákladů současně se zvyšováním bezpečnosti.

CÍLE OCHRANY

Hlavní cíle jakýchkoli bezpečnostních opatření jsou, v pořadí podle důležitosti, následující:

1. Na prvním místě předcházet nehodám.
2. Minimalizovat škody na životech a zdraví osob zúčastněných na nehodě, pokud k ní skutečně dojde.
3. Chránit konstrukci tunelu samotného, pokud je to pro daný tunel považováno za důležité.

INTRODUCTION

The current investments in road and rail infrastructure are being questioned in many countries. As an example, the Swiss Federal government announced that the means for the operation and maintenance of the road and rail infrastructure are running short. In Australia, many privately financed tunnels went bankrupt. In the Czech republic, recent political pressure lead to a massive cut in budgets. There are many other examples of similar problems in other countries.

One of the aspects that raised costs in many projects are new safety standards. Prescriptive guidelines for tunnel safety equipment, particularly ventilation, have been developed after some serious fire incidents in European road tunnels more than a decade ago, with particular reference to the Mont Blanc and Tauern tunnel fire incidents in 1999. Tunnels which comply with the new guidelines are assumed to be safer than older tunnels. However, not all of the requirements actually lead to safer tunnels. To some extent significant sums are spent on investment and operation of facilities, which contribute very little to enhancing the safety, nor does it bring about improvements in other aspects. Poor workmanship is unfortunately common, and often the safety equipment is not even fully tested.

Guidelines are often understood as strict laws. In case of any damage due to an incident in a tunnel, legal authorities and liability insurances ask for compliance with current guidelines and norms, regardless of their usefulness. This thinking may actually impede any improvement and progress. Therefore, the guidelines and norms must be reformed.

The demand for safety measures which lead to such high costs that the construction of the tunnel is delayed, or even cancelled due to financial restraints, should be questioned and compared with the principal benefits of the tunnel itself, like improving traffic safety and capacity by optimising road alignments, or reducing the environmental impact in comparison with an open road.

Instead of following prescriptive regulations, a risk based evaluation of safety measures is proposed. Those measures should be assessed by their costs and benefits by estimations of 'costs per life saved', and 'cost of avoided damage'. A practical approach to reducing costs while improving safety is presented in this article.

PROTECTION GOALS

The main goals of any safety measures are, in order of importance:

1. To prevent incidents in the first place
2. To minimise damage to life and health of the involved persons if an incident does occur
3. To protect the tunnel structure itself, if deemed important for the particular tunnel

The first goal may be achieved by systemic and structural provisions, traffic management and by informing and educating

První cíl může být dosažen systematickými a konstrukčními opatřeními, řízením dopravy a informováním i vzděláváním řidičů. Tento článek je zaměřen na technická opatření, obzvláště na únikové trasy a větrání, které slouží druhému a třetímu cíli poté, co došlo k mimořádné události.

Pro každý hlavní cíl se dají definovat konkrétní cíle ochrany, například aby se osobám v tunelu po vypuknutí požáru umožnil únik do nezakouřené zóny před tím, než dorazí jakákoli pomoc (sebezáchrana). Tento scénář vede k požadavku na možné řízení odvodu kouře.

HODNOCENÍ RIZIK

V uplynulých letech byla vypracována řada analýz rizik pro silniční tunely, vytvořilo se hodně modelů a napsalo se mnoho literatury k tomuto problému. Dobrý přehled se dá nalézt v dokumentu PIARC [1] a v českých TP 229 [2]. Některé z použitých programů jsou založené na standardních tabulkových procesorech, které pro tento druh použití nejsou nijak zvlášť užitečné [7]. Příkladem vhodně použitelného nástroje je TURAM [8], který je sofistikovaným standardizovaným programem pro posuzování silničních tunelů. Byl již úspěšně použit při posuzování mnoha tunelů ve Švýcarsku a Německu [9].

Obecné závěry hodnocení rizik se dají shrnout takto:

- Nejvyšším rizikovým scénářem je srážka.
- Druhým rozhodujícím rizikem je požár v tunelu, který je o jeden řád nižší, než je riziko srážky.

Pravděpodobnost srážek a požárů je obvykle v přímém vztahu k délce tunelu, způsobu dopravy (tj. jednosměrný nebo obousměrný provoz), hustotě dopravy a procentu těžkých nákladních vozidel. Další vliv na pravděpodobnost požárů má podélný sklon přílehlých komunikací, jelikož vede k přehřívání motorů a brzd.

Další scénáře, jako je rozlití nebezpečných látek nebo výbuchy, jsou mnohem méně pravděpodobné. Pro posuzování jakýchkoli reálných pravděpodobností takových událostí nejsou k dispozici žádná data. Přesto jsou užitečné pro srovnávání rizik různých řešení, obzvláště co se týče povolení přepravy nebezpečných látek.

Z toho důvodu se bezpečnost tunelu řídí prvořadě rizikem srážek a rizikem požárů. Tato kritéria jsou definována například v německém „první krok“ hodnocení rizik [3]. Existuje pouze několik tunelů, ve kterých dochází opakovaně k požárům se statisticky relevantní frekvencí. Příklady takových tunelů jsou:

- V tunelu Elbe v Hamburku (Německo), který má čtyři tunelové trouby o délce asi 3 km a intenzita dopravy v něm je vyšší než 120 000 vozidel za den, dochází v průměru k 7 požárům za rok. Od uvedení tunelu do provozu v roce 1975 v něm v důsledku požáru nedošlo k žádným zraněním.
- Silniční tunel Gotthard (Švýcarsko) je obousměrný s délkou kolem 17 km a intenzitou dopravy 17 000 vozidel za den. Před rokem 2002 v něm docházelo průměrně ke čtyřem požárům za rok. Po katastrofálním požáru 24. 10. 2001 se za pomoci přísných opatření v řízení dopravy četnost požárů snížila. Přesto k požárům v tomto nejdelším alpském tunelu stále pravidelně dochází.

Takové „vysoce rizikové“ tunely vyžadují vyšší úroveň bezpečnostních opatření ve srovnání s průměrným tunelem. Nicméně většina požárů nevede k žádným zraněním. Některé požáry v tunelech ani nejsou zaznamenány. V mnoha tunelech nebyly zaznamenány vůbec žádné požáry po celou dobu jejich existence. V těchto případech by jakákoli opatření ke snížení rizika požáru mohla být pokládána za sporná.

drivers. This article focuses on technical measures, particularly escape routes and ventilation, which serve the second and third goals after the occurrence of an incident.

For each main goal, specific protection goals can be defined, e.g. to enable the persons in the tunnel to escape in a smoke free zone after the breakout of a fire, before any assistance arrives (self rescue). This scenario leads to the demand for possible smoke control.

RISK ASSESSMENT

Many risk analyses for road tunnels have been worked out in previous years, a number of models have been established and a lot of literature has been written about the issue. A good overview can be found in the PIARC document [1] and Czech TP 229 [2]. Some of the applied programs are based on standard spreadsheet programs, which are not particularly useful for this type of application [7]. An example of a suitably applicable tool is TURAM [8], which is a sophisticated standardised program for the assessment of road tunnels. It has been successfully used for the assessment of many tunnels in Switzerland and Germany [9].

The general conclusions of risk assessments can be summarised as follows:

- The highest risk scenario is a collision.
- The second authoritative risk is a tunnel fire, with a risk of one magnitude lower than the collision risk.

The probability of collisions and fires is usually directly related to tunnel length, traffic management (i.e. unidirectional or bidirectional), traffic volume and percentage of heavy goods vehicles. The slope of the adjoining roads has an additional influence on the probability of fires, leading to a possible overheating of engines and brakes.

Other scenarios, like spilling of dangerous substances, or explosions, are much less likely. There is no data available to evaluate any realistic probabilities of such events. Nevertheless, they are useful for comparative risk assessments, particularly regarding the permission to carry dangerous goods.

Therefore the safety of a tunnel is governed in the first order by the risk of collisions and the risk of fires. These criteria are defined, e.g., in the German 'first step' safety assessment [3]. There are only a few existing tunnels in which fires occur with a statistically relevant frequency. Examples of such tunnels are:

- The Elbe tunnel in Hamburg (Germany), consisting of 4 tubes with a length of approx. 3 km, and more than 120'000 veh/day, has an average of 7 fire incidents per year. Since the opening of the tunnel in 1975, there have been no casualties due to fires.
- The Gotthard road tunnel (Switzerland), consisting of a single tube with a length of approx. 17 km, and 17'000 veh/day, had an average of 4 fire incidents per year before 2002. After the catastrophic fire on the 24.10.2001, the fire incident rate has been reduced with the aid of strict traffic management measures. Fires do, however, still regularly occur in this longest alpine tunnel.

Such 'high risk' tunnels require a greater level of safety measures when compared to the average tunnel. Nevertheless, the majority of fire incidents do not lead to any casualties. Some fires in tunnels are not even recorded. In many tunnels there have been no recorded fire incidents at all over their operating lifetime. In these cases, any measures to reduce fire risk might be questioned.

For a detailed risk assessment, many other aspects would have to be considered. Besides the operational risk of a road

Pro podrobné hodnocení rizik by se musela vzít do úvahy spousta dalších hledisek. Vedle provozního rizika silničního tunelu je zapotřebí počítat s riziky v průběhu výstavby a uvádění do provozu i při pracích na údržbě. V mnoha případech je průměrný počet zranění v průběhu výstavby přibližně stejně velký jako v průběhu provozu tunelu. Zvláště při rekonstrukcích stávajících tunelů tak, aby odpovídaly novým bezpečnostním standardům, mohou výsledné dopravní překážky zvyšovat riziko pro řidiče.

Každá analýza rizik je založena na zjednodušení. Pouze odborná znalost může zajistit, aby se použily správné předpoklady a zjednodušení.

ANALÝZA SCÉNÁŘŮ

U mnoha modelů analýzy rizik jsou důsledky založeny pouze na předpokladech, například tunel s odsáváním kouře se považuje za bezpečnější než tunel, který má pouze podélné větrání. Tento přístup může vést k nesprávným závěrům.

Pro podrobné hodnocení rizik a pro kvantifikaci následků požárů by se musela vypracovat analýza scénářů pomocí kombinace dynamického modelu šíření kouře v tunelu s modelem evakuace (simulace sebezáchranou lidí v tunelu). V některých zvláštních případech by se do modelu mohly zahrnout i škody na konstrukcích.

Pravděpodobné a kritické scénáře se musí vyhodnocovat hlavně pomocí analýzy stromu událostí. Mají se simulovat pro všechny varianty [11]. V každém případě praxe ukazuje, že se mohou vyskytnout ještě horší scénáře, na které dříve nikdo nepomyslel.

Varianty užitečných opatření, například různé systémy větrání a vzdálenosti mezi únikovými cestami, jsou definovány tak, jak je popsáno dále v tomto článku. To může vést k desítkám nebo i stovkám simulačních souborů. Tyto simulace se provádějí přiměřeně dobře pomocí jednorozměrného simulačního nástroje. Samozřejmě zvolený simulační nástroj se musí potvrdit srovnáním s naměřenými daty.

Modelování 3-D pomocí výpočetní dynamiky kapalin (Computational Fluid Dynamics, CFD) obecně není pro takové aplikace užitečné. Tunel je v první řadě jednorozměrný systém. Simulace CFD jsou časově dost náročné, takže omezují počet simulací a mohou být těžko potvrditelné. Na druhou stranu CFD je mocný nástroj pro vyšetřování speciálních problémů, jako jsou podmínky proudění ve složitých tvarech nebo jevy stratifikace kouře.

Simulační nástroje mohou velmi účinně ukázat, jak mohou být osoby v průběhu požárů vystaveny účinkům kouře. Jsou také účinné při zjišťování, kde jsou hranice opatření pro větrání tím, že přihlížejí k prodlení ve zjištění požáru a k dynamickému vývoji podmínek proudění po spuštění systému požárního větrání. Nepředpokládá se, že by všechny osoby, které jsou vystaveny účinkům kouře, zemřely, avšak při několika jednoduchých předpokladech, co se týká toxicity a doby expozice, se dá pro každý scénář a každou variantu odhadnout počet výsledných zranění.

OPATŘENÍ

Seznam nejdůležitějších opatření ke zvýšení požární bezpečnosti v silničních tunelech je následující:

- **Způsob dopravy**

Umožnění volného proudu dopravy v jednom směru je to nejúčinnější opatření, které podstatně snižuje riziko srážky a také zmenšuje nároky na větrání a únikové cesty. Jelikož to často vyžaduje stavbu další tunelové trouby, je to také to nejnákladnější opatření.

tunnel, the risks during construction and implementation, as well as for maintenance works need to be taken into account. In many cases, the average number of casualties during tunnel construction is of approximately the same magnitude as it is during the tunnel operation. Particularly when refurbishing existing tunnels to meet new safety standards, the resulting traffic obstructions can increase the risk to drivers.

Any risk analysis is based on simplification. Only expert knowledge can assure that the 'right' assumptions and simplifications are applied.

SCENARIO ANALYSIS

In many basic Risk Analysis models, consequences are based only on simple assumptions; e.g. a tunnel with smoke extraction is considered to be safer than one with pure longitudinal ventilation. This approach may lead to wrong conclusions.

For a detailed assessment of the fire risk and to quantify the consequences of fires, a scenario analysis would have to be performed by combining a dynamic model of smoke spread in the tunnel with an evacuation model (simulation of self rescue of people in the tunnel). In some special cases, structural damages might be included in the model.

Probable and critical scenarios must be evaluated, preferably by an event tree analysis, and are to be simulated for all variants [11]. In any case, practice shows that worse scenarios can occur, of which nobody has previously thought of.

Variants of useful measures, e.g. different ventilation systems and distances between escape routes are defined, as is described later in this article. This may lead to dozens or even hundreds of simulation sets. Such simulations are performed reasonably well using a one-dimensional simulation tool. Of course, the simulation tool chosen must be validated against measured data.

3-D modelling using Computational Fluid Dynamics (CFD) is generally not useful for such applications. A tunnel is in the first order a one-dimensional system. CFD simulations are quite time consuming, therefore limiting the number of simulations, and can be difficult to validate. On the other hand, CFD is a powerful instrument to investigate special problems, such as flow conditions within complex geometries, or stratification phenomena.

Simulation tools can very effectively show how persons may be exposed to smoke during fire incidents. They are also effective at showing where the limits of the ventilation measures are, by taking into account the delay of detection and dynamic behaviour of flow conditions after the start-up of the fire ventilation system. Not all persons who are exposed to smoke are assumed to die, but with some simple assumptions about toxicity and exposure time, the number of resulting casualties can be assessed for each scenario and each variant.

MEASURES

The most important measures to improve fire safety in road tunnels are listed as follows:

- **Traffic management**

Enabling free flowing unidirectional traffic is the most effective measure, reducing the collision risk significantly and reducing also the demands for ventilation and escape routes. Because this usually requires the construction of an additional tunnel tube, it is also the most expensive measure.

Measures limiting the traffic, like drop systems or alternating unidirectional traffic in single tube tunnels improve safety without any investment, but obstruct the traffic on adjoining

Opatření k omezení dopravy, jako jsou dávkovací systémy nebo střídavá jednosměrná doprava v jedné tunelové trubě, zvyšují bezpečnost bez jakýchkoli dalších investic, avšak překážejí dopravě na přílehlých komunikacích. Výsledné snížení kapacity komunikace nemusí být politicky průchodné a může být použitelné pouze dočasně.

- **Tuneloví dispečerů a systémy řízení**

Když za správnou reakci na nehodu odpovídají tuneloví dispečerů, měly by být požadavky na výběr, vzdělávání, výcvik a pravidelná cvičení dispečerů velmi přísné. To ale vede k velkým výdajům. Musí se počítat i s rizikem lidské chyby. Z toho důvodu se počítá s automatickou reakcí řídicího systému. Tunely by měly být schopné pracovat autonomně pomocí svých řídicích systémů s tím, že zásah dispečera potřebují pouze v mimořádných případech. V tomto směru nemá zřizování řídicích center s obsluhou u každého tunelu velký smysl. Lepší je, když může centrální řídicí středisko mít dohled nad skupinou tunelů. Výše uvedené tunely s velkým rizikem mohou být výjimkou.

- **Krátké vzdálenosti mezi únikovými cestami**

V tunelech s obousměrnou dopravou anebo s jednosměrným provozem, kde dochází k dopravním zácpám, kratší vzdálenosti mezi únikovými cestami podstatně zlepšují schopnost úniku ve fázi sebezáchrany. Umožňují i lepší přístup záchraných jednotek ve druhé fázi.

U hloubených tunelů se dvěma trubami a dělicí stěnou nevyžaduje vytvoření propojení mezi tunelovými trubami vysoké dodatečné náklady. Spojení mezi dvěma raženými tunely je mnohem nákladnější a samostatné únikové tunely pro jednotrubní tunely jsou dokonce ještě dražší.

- **Detekce mimořádné události**

Detekce kouře založená na měření viditelnosti v tunelu se ukázala jako neúčinnější a nejspolehlivější metoda detekce požárů. Investiční náklady a náklady na údržbu jsou u této metody nízké. Dokonce i v tunelech bez větrání nebo jiných zařízeních umožňuje rychlá detekce uzavření tunelu a rychlé zmobilizování záchraných jednotek.

Detekce požáru lineárními tepelnými čidly je ve většině případů příliš pomalá, a čidla nejsou schopná zjistit doutnající požáry. Detekce požáru videokamerami je velmi nespolehlivá a má se používat pouze pro upozornění dispečerů.

- **Podélné větrání s pevným nastavením**

Jedná se o nejjednodušší systém větrání, který se hodí hlavně do tunelů s volným proudem jednosměrné dopravy, u kterých nezáleží na jejich délce. Cílem je hnát kouř jedním směrem k výjezdovému portálu tunelu a vytvářet nezakouřenou bezpečnou zónu, ve které jsou zablokována vozidla s pasažéry.

- **Řízené podélné větrání**

U tunelů s obousměrnou dopravou anebo s jednosměrným provozem, kde dochází k dopravním zácpám, musí být proudění vzduchu řízeno, aby se zabránilo změně ve směru proudění a zpomalil se pohyb kouře na rychlost, která je nižší, než je předpokládaná rychlost úniku osob (např. 1,5 m/s podle PIARC [4]). Tímto způsobem je i možné podpořit stratifikaci kouře. Vyžaduje se regulace v uzavřeném cyklu založená na přesných a spolehlivých měřeních proudění a na spojitě pracujících ovladačích (např. ventilátory s měniči otáček). Ve srovnání s pevnými nastaveními jsou náklady mnohem vyšší, vyžadující přísné požadavky na implementaci, pravidelné zkoušky a kalibraci přístrojů. Zvyšuje se i počet možných zdrojů chyb. U krátkých tunelů nejsou obecně tato opatření užitečná, a proto

roads. The resulting reduction of the road capacity may not be politically feasible, and only temporarily applicable.

- **Tunnel operators and control systems**

When tunnel operators are responsible for the proper reaction to an incident, the requirements for the selection, education, training and regular exercising of the operators should be very strict, which leads to high expenses. The risk of human error must also be taken into account. Therefore, an automatic response by the control system is envisaged. Tunnels should be able to operate autonomously using their control system, only requiring a response from an operator in extraordinary cases. Providing a manned control center for each tunnel does not make a lot of sense in this regard. Preferably, a central control center can supervise groups of tunnels. High risk tunnels, as mentioned above, may be an exception.

- **Short distances between escape routes**

In tunnels with bidirectional or congested unidirectional traffic, shorter distances between escape routes significantly improve the ability to escape during the self rescue phase. They also allow better accessibility for emergency services in the second phase.

For cut and cover tunnels, with two tubes and a dividing wall, the connections between the tubes don't require high additional costs. Connections between two bored tunnels are much more expensive, and separate escape tunnels for single tube tunnels are more expensive again.

- **Incident detection**

Smoke detection based on the measurement of visibility in the tunnel has been proven to be the most effective and reliable method of detecting fires. Investment and maintenance costs for this method are low. Even in tunnels without ventilation or other equipment, a fast detection enables tunnel closure and emergency services to be alerted quickly.

Fire detection by linear thermal sensors is too slow in most cases and is unable to detect smouldering fires. Video smoke detection is very unreliable and is only to be used to alert operators.

- **Longitudinal ventilation with fixed settings**

This is the simplest ventilation system, and is mainly useful in tunnels with free flowing unidirectional traffic, independent of their length. The goal is to drive the smoke in one direction, towards the exit portal of the tunnel, creating a smoke free, safe zone where the vehicles and their occupants are blocked.

- **Controlled longitudinal ventilation**

In tunnels with bidirectional or congested unidirectional traffic, the airflow must be controlled to prevent change of flow direction, and to slow down smoke movement to a velocity that is inferior to the assumed escape velocity of persons (e.g. 1.5 m/s according to PIARC [4]). That way, also a possible stratification might be supported.

A closed-loop control, based on precise, reliable flow measurements and continuous actuators (e.g. jet fans with frequency converters) is required. In comparison with fixed settings, the expenses are much higher, requiring strict demands for implementation, regular testing and calibration of instruments. This also increases the number of possible sources of error.

In short tunnels, these measures are generally not useful, and therefore the fixed setting 'ventilation switched off / no mechanical ventilation' is appropriate.

- **Smoke extraction**

In long tunnels with bidirectional or unidirectional traffic at a standstill, a smoke extraction system may be useful. In the event of a fire, the smoke zone in the tunnel can be quickly and effectively brought to a minimum.

se u nich hodí pevné nastavení strojního větrání systémem „zapnuto / vypnuto“.

- **Odsávání kouře**

U dlouhých tunelů s obousměrnou nebo jednosměrnou dopravou, která je v klidu, může být užitečný systém s odsáváním kouře. V případě požáru se může zakouřená zóna v tunelu rychle a účinně zmenšit na minimum. Systém s odsáváním kouře obecně vede k výjimečně vysokým nákladům z důvodu potřeby výstavby větracích kanálů a strojoven vzduchotechniky, požárních klapek, sacích ventilátorů a systémů jejich napájení a řízení. Navíc se musí provádět stejná opatření jako u podélného větrání. Musí se brát v úvahu i dodatečné riziko pro pracovníky v průběhu výstavby kanálů a strojoven a i pracovníků údržby při obsluze zařízení.

- **Pevný hasicí systém**

Sprinklery, skrápěcí zařízení nebo systémy vytvářející vodní mlhu mohou být účinné při hašení u mnoha scénářů, ale také vedou k vysokým nákladům souvisejícím s počáteční investicí, údržbou a pravidelným zkoušením. Je u nich i riziko náhodného spuštění.

- **Hasičské stanice**

Hasiči jsou při snižování rizika požáru užiteční, pouze pokud mohou dorazit na místo během několika minut po vzniku mimořádné události. Musí se vzít v úvahu náklady na hasičské stanice s obsluhou u tunelových portálů spolu s náklady na vybavení a osobní náklady včetně vzdělávání a výcviku.

- **Požární ochrana konstrukcí**

Ochrana konstrukce tunelu je užitečná tam, kde nelze připustit její zřícení. Pro bezpečnost života se může zanedbat účinek ochrany konstrukce s ohledem na to, že za podmínek, které vedou k poškození konstrukce, by nikdo z uživatelů tunelu a hasičů nepřežil.

Platí obecná zásada, že to nejjednodušší opatření je obvykle to nejlepší. Je pravděpodobné, že se zvyšující se složitostí technického systému se sníží spolehlivost a dostupnost a náklady na údržbu, pravidelné zkoušení a eliminování chyb se progresivně zvýší. Stavební opatření jsou obecně jednoduchá a účinná, avšak také nejdražší.

HAŠENÍ POŽÁRŮ

Hasiči mohou být při hašení požárů v tunelu velmi efektivní, pokud dorazí během pár minut po zjištění požáru. Aby to bylo možné, jsou potřebné trvale obsazené hasičské stanice na tunelových portálech. Náklady na hasičské stanice, vybavení a osobní náklady jsou enormní a jsou skutečně praktické pouze u tunelů s vysokými riziky, kde důsledky požáru a zřícení konstrukce nelze tolerovat. Může se jednat o případy, kdy náklady na sanaci po požáru by byly výjimečně vysoké, například u tunelů podcházejících řeky, městské tunely s budovami v nadloží nebo tam, kde by došlo ke ztrátě výnosu z mýtného v případě jejich uzavření. Příkladem je tunel Elbe v Hamburku.

U většiny tunelů není hašení požárů prioritou. Nejvyšší prioritou je, aby mohli lidé v případě požáru uniknout ve fázi sebezáchary. Záchranné jednotky, které přijedou později, mohou pomoci s dalším zachraňováním. Osoby v bezprostřední blízkosti požáru, které nebyly schopné uniknout v prvních několika minutách (ve fázi sebezáchary), by se mohly považovat za ztracené. Pokus o hašení požáru by se měl uskutečnit, až když je to proveditelné a bez dalšího rizika pro hasiče. Rozhodnutí o tom je v pravomoci velitele jednotky požární ochrany. V důsledku toho by se s požadavky na jednotky požární ochrany mělo počítat pouze u tunelů s vysokým rizikem a u většiny ostatních tunelů se mohou vypustit.

A smoke extraction system generally leads to extraordinarily high costs due to the need for the construction of ducts and ventilation plants, as well as dampers, exhaust fans, and their power supply and control systems. Additionally, the same measures as for controlled longitudinal ventilation have to be applied.

The additional risk for workers during the construction of ducts and plants, and also maintenance staff whilst servicing the equipment, must be taken into account as well.

- **Fixed fire fighting system**

Sprinklers, deluge or fog systems may be effective in fire suppression for many scenarios, but also lead to high costs through initial investment, maintenance and regular testing. They also carry the risk of accidental discharge.

- **Fire fighting stations**

Fire fighters are only useful for the reduction of fire risk if they can arrive onsite within a few minutes of an incident occurring. The costs of having manned fire fighting stations at the tunnel portals, together with equipment and personnel costs, including education and training, have to be taken into account.

- **Structural fire protection**

Protecting the tunnel structure is useful when a collapse would not be tolerated. For life safety, the effect of structural fire protection can be neglected, considering that under the conditions that lead to structural damage there would neither be surviving tunnel users nor fire fighters.

As a general rule, the simplest measure is usually the best. With the increasing complexity of a technical system, the reliability and availability will likely decrease, and the expenses for maintenance, regular testing and error elimination increase progressively. Constructional measures are generally simple and effective, but also most expensive.

FIRE FIGHTING

Fire-fighters can be very effective in the suppression of tunnel fires, when they arrive within few minutes of fire detection. To enable this, permanently occupied fire fighting stations at the tunnel portals are required. The expenses for fire fighting stations, equipment and personnel costs are enormous, and are only really practical for high risk tunnels, where the consequences of a fire and structural collapse cannot be tolerated. This may be the case when the costs for refurbishment after a fire incident would be extraordinarily high, e.g. for tunnels crossing below a river, city tunnels with buildings above the tunnel or for roads with loss of revenue from tolls in the case of closure. An example for that is the Elbe tunnel in Hamburg.

For most tunnels, extinguishing the fire is not the priority. The highest priority is that people are able to escape during the self-rescue phase. Emergency services arriving later may assist with the additional rescue. Persons in the immediate vicinity of the fire who were not able to escape within the first few minutes (self-rescue phase) might be considered as lost. Extinguishing the fire should only be attempted when feasible and without further risk to the fire fighters. The decision is within the responsibility of the fire brigade commander.

The consequence is, that demands from fire brigades to support fire fighting should only be taken into account in high risk tunnels, and can be omitted in most other tunnels.

As an alternative to fire fighting stations, fixed fire fighting systems (FFFS) could be considered. Sprinkler, deluge and fog systems have been proven to be effective in fire suppression in many tests and some real incidents (e.g. the Burnley tunnel fire

Jako alternativa hasičských stanic je možné zvažovat pevné hasicí systémy. U sprinklerů, skrápěcích zařízení nebo systémů pro vytváření vodní mlhy se musí prokázat, že jsou účinné při mnoha požárních testech a v případech některých reálných požárů (například požár v tunelu Burnley v australském Melbourne). Mohly by riziko požáru značně snížit. Nicméně analýza nákladů a přínosů ukazuje, že u takových zařízení je pravděpodobnost vzniku poruchy a že jsou obecně vhodná pouze pro tunely s vysokým rizikem.

PRAKTICKÁ SPOLEHLIVOST

Co se v praxi zvažuje, je implementace zvolené koncepce a realizace, řízení a provoz navrženého systému. V současných směrnících nejsou žádné požadavky na zajištění kvality bezpečnostních zařízení v silničních tunelech. Za příklad lepšího přístupu se mohou považovat normy pro průmyslové závody a elektrárny.

Běžně se diskutuje o ventilátorech a požárních klapkách, avšak praxe ukazuje, že k většině případů jejich selhání dochází v důsledku poruch dodávky proudu. V důsledku toho musí mít spolehlivost dodávky proudu vyšší prioritu než spolehlivost jednotlivého větracího zařízení.

Hlavním posláním požárního větrání je řízení šíření kouře. Aby se toho dosáhlo, musí se definovat podrobné scénáře zkoušek pro všechny možné stavy řídicích systémů, včetně druhů selhání, defektů a poruch činnosti zařízení. Pro každý z těchto scénářů se musí stanovit kritéria přijatelnosti. Zkoušky zahrnují funkci jednotlivého systému (jako je větrání) i celkovou součinnost všech bezpečnostních zařízení v tunelu [10]. Zkoušky kouřem slouží pouze pro vizualizaci činnosti požárního větrání pro některé vybrané scénáře.

U provozovaných tunelů se musí provádět i pravidelná kalibrace přístrojů a zkoušky zařízení a řídicích systémů spolu se správným servisem a údržbou. To se často zanedbává, což vede k tomu, že se zařízení s vysokými investičními náklady stanou po několika letech neschopnými provozu.

ODHAD NÁKLADŮ

Náklady spojené s mimořádnou událostí se musí zvažovat společně s její pravděpodobností, tj. musí ukázat finanční ztráty během stanoveného období.

Odhady nákladů často berou v úvahu investiční náklady. To vede k pokřivení obrazu o skutečných výdajích na stavbu. V důsledku toho se musí přihlídnout ke všem nákladům potřebným na to, aby se zaručilo, že bezpečnostní opatření bude plnit svůj účel účinně a spolehlivě po celou dobu životnosti tunelu. Musí se vzít v úvahu následující body:

- Inženýrská příprava a řízení projektu (stavby)
- Investiční náklady na výrobu a uvádění do provozu
- Zkoušky při předání a pravidelné zkoušky za provozu
- Provozní náklady (energie, provozní a spotřební materiály)
- Údržba
- Renovace

Definování ceny lidského života je nakonec politickým závazkem. Běžné hodnoty jsou v USA od 3 do 8 milionů USD/život [5], v Německu 2 miliony USD/život [6]. K fyzickým zraněním různé závažnosti by se také mělo přihlížet, avšak pro ně by se rizika a náklady těžko odhadovaly.

Prohlášení „Musí se zachránit každý život bez ohledu na náklady“ je morálně sporné, přihlídneme-li k tomu, že při omezeném rozpočtu by se vhodnými opatřeními dalo zachránit více životů v jiné oblasti.

in Melbourne, Australia). They might reduce the fire risk significantly. Nevertheless, an analysis of costs and benefits shows that such equipment also bears the probability of malfunction, and is generally only useful for high risk tunnels.

PRACTICAL RELIABILITY

What counts in practice is the implementation of the chosen concept and the realisation, control and operation of the designed system. In current guidelines, there are no requirements for the quality assurance of safety equipment in road tunnels. Standards for industrial and power plants may be taken as an example of a better approach.

The availability of fans and dampers is a common area of discussion, but practice shows that most breakdowns occur because of power supply failures. Consequently, the reliability of the power supply must have a higher priority than that of single ventilation equipment.

The control of the spread of smoke is the main goal of the fire ventilation. To achieve this, detailed test scenarios for all possible states of the control systems must be defined, including failure modes, breakdown and malfunction of equipment. For each of these scenarios, acceptance criteria must be defined. The tests include the function of single systems (like the ventilation) as well as the integral cooperation of all tunnel safety equipment [10]. Smoke tests serve only as a visualisation of fire ventilation performance for some chosen scenarios.

Calibration of instruments and testing of equipment and control systems must also be performed on a regular basis for tunnels in operation, together with proper service and maintenance works. This has often been neglected, leading to equipment with high investment costs to become inoperative after only a few years.

COST ESTIMATION

The costs of an incident must be weighed with its probability, i.e. displaying a monetary risk value over a defined period.

Cost estimations often only take into account investment costs. This leads to a distorted image of the real expenses of a project. Consequently, all costs which are necessary to guarantee that a safety measure fulfills its purpose efficiently and reliably during the lifetime of the tunnel must be taken into account. The following points are to be considered:

- Engineering and project management
- Investment costs for production, installation and commissioning
- Acceptance tests and regular testing in operation
- Operational costs (energy, operating and expendable materials)
- Maintenance
- Refurbishment

The definition of the cost of a human life is finally a political commitment. Common values are between 3 - 8 Mio. USD/life in the US [5], or 2 Mio. EUR/life in Germany [6]. Physical injuries with different severities should also be taken into account, however for that, risks and costs would be difficult to estimate.

The statement 'Each life has to be saved at whatever expense' is morally objectionable, taking into account that with a limited budget, more lives could be saved in another sector with appropriate measures.

The consequences of structural damage to the tunnel are mainly the cost of refurbishment and possibly lost revenue

Důsledky poškození konstrukce tunelu spočívají hlavně v nákladech na rekonstrukci a možné ztrátě příjmů z výběru mýta v důsledku dočasného uzavření tunelu. Když se zřítí tunel pod řekou nebo ve městě, související náklady mohou být vyšší, než by byly náklady na stavbu zcela nového tunelu. V takových případech by zříčení bylo nepřijatelné, takže takové případy vyžadují mimořádná bezpečnostní opatření, aby se taková situace vyloučila.

OTÁZKY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Kromě požadavků na bezpečnost mohou investiční a provozní náklady na silniční tunely podstatně zvýšit i omezení z důvodů ochrany životního prostředí.

U mnoha tunelových staveb se v posouzení vlivu na životní prostředí (EIA) stanoví, že jakékoli emise z tunelu se musí omezit nebo že nejsou povoleny vůbec žádné emise. V Evropě se tato omezení v praxi uplatňují velmi zřídka, avšak v zemích s vyššími automobilovými emisemi (např. v Austrálii) jsou omezení velmi přísná. Ve skutečnosti jsou na mnoha evropských tunelech šachty pro odsávání vzduchu z tunelu u portálů, které v praxi nejsou nikdy v provozu. Investice do těchto zařízení jsou diskutabilní, avšak mnoho nových projektů šachty vyžaduje, i když jsou považovány za zbytečné.

Jeden důvod je, že většina metod pro výpočty emisí nadhodnocuje koncentrace ve srovnání se skutečnými měřeními.

Šachty jsou užitečné pouze pro vytlačování výfukových plynů z tunelu vysokou rychlostí (> 15 m/s) do ovzduší, kde se emise mohou naředit. To ale vede k hlukovým emisím a velké spotřebě energie na provoz odsávacích ventilátorů. Alternativou šachet pro snížení emisí v bezprostředním okolí tunelových portálů mohou být filtry, i když příspěvek filtrů na výdechu z tunelu na snížení celkových emisí je zanedbatelný.

Měly by se vzít v úvahu obecné účinky samotných opatření na ochranu životního prostředí. Například když se energie na provoz šachty získává z uhelných elektráren, které produkují CO₂ a jiné emise, je celkový dopad opatření záporný, i když možná zlepšuje místní situaci v okolí tunelu.

POUŽITÍ ZDRAVÉHO ROZUMU

Používání hodnocení rizik a scénářů pro nalezení optimálního řešení může vést k nežádoucí složitosti s mnoha zdroji nejistot a chyb. Výsledky i složitých podrobných analýz rizik jsou stále jen hrubým odhadem, mluvíme-li o silničních tunelech. Vhodná opatření, se kterými se má počítat pro analýzu scénářů, musí být vybrána předem. Výsledky simulace se musí ověřit použitím zdravého rozumu.

V tomto směru se zdravý rozum dá získat pouze na základě praktických zkušeností. Zkušenosti inženýři řeší složité problémy pomocí jednoduchých praktických zásad, které berou v úvahu pouze důležité informace a nedávají se zmást méně relevantními aspekty. Tento přístup vede k lepším a účinnějším výsledkům než složitá podrobná analýza [12]. Proto je k identifikování, které aspekty jsou důležité, a k nalezení správných závěrů potřebné odborné know-how. Analýza rizik může být užitečná při porovnávání variant, které byly předtím hodnoceny pomocí odborných pravidel vyplývajících ze zkušeností. Odborníci se dají poznat podle toho, že mají ověřený přehled dosavadních výsledků plánovaných, realizovaných a úspěšně odzkoušených referenčních projektů. Důraz musí být kladen na zkoušení a provoz.

Důležitý aspekt je, že není možné předvídat budoucnost tak, že se vezme v úvahu minulá zkušenost. V praxi se mohou vyskytnout horší scénáře, na které předtím nikdo nepomyslel.

from tolls due to temporary tunnel closure. When a tunnel under a river or in a city collapses, the costs involved might be higher than those to build a whole new tunnel would be. In such cases, a collapse would not be allowable, therefore these cases require extraordinary safety measures to rule out such a situation from occurring.

ENVIRONMENTAL ISSUES

Along with the safety requirements, environmental restrictions may also significantly increase the investment and operational costs of road tunnels.

For many tunnel projects, an Environmental Impact Assessment (EIA) states that any emissions from the tunnel must be restricted or are not even allowed at all. In Europe, those restrictions are very rarely applied in practice, but in countries with higher car emissions (e.g. Australia), the restrictions are very strict. In fact, many tunnels in Europe are equipped with shafts for extraction of tunnel air at the portals which in reality are never in operation. The investments for those installations are questionable, but still many new projects require shafts, even when considered as unnecessary.

One reason for this is that most immission calculation methods over-estimate concentrations, when compared with real measurements.

Shafts are only useful when expelling the tunnel exhaust with high velocity (> 15 m/s) into the atmosphere, where the emissions may be diluted. That leads to noise emissions and high energy consumption for the operation of exhaust fans. Filters might be an alternative to shafts for the reduction of emissions in the immediate neighbourhood of tunnel portals, even when the contribution of tunnel exhaust filters for the reduction of overall emissions is negligible.

The general effects of the environmental measures themselves should be taken into account. As an example, when the energy for the operation of a shaft is provided by coal fuelled power plants, generating CO₂ and other emissions, the global impact of the measure is negative, even whilst possibly improving the local situation in the vicinity of the tunnel.

USING COMMON SENSE

Using risk assessments and scenario analysis for finding optimal solutions may lead to objectionable complexity with many sources of uncertainty and error. The results of even complex, detailed risk analysis are still only a rough estimation when talking about road tunnels. Appropriate measures to be taken into account for the scenario analysis have to be pre-selected. Simulation results must be checked by using a common sense approach.

In that aspect, common sense can only really be achieved through practical experience. Experienced engineers solve complex problems by applying simple rules of thumb, which take into account only the important information, while not becoming confused by less relevant aspects. This approach leads to better and more efficient results than a complex detailed analysis [12]. Therefore, expert know-how is required to identify which aspects are important and to find the right conclusion. Risk analysis might be useful to compare variants which have been previously evaluated by expert rules of thumb.

Experts can be identified by having a proven record of planned, realised and successfully tested reference projects. The focus must be on the testing and operation.

Po takové mimořádné události je obvyklé, že veřejné mínění kritizuje nedostatek vhodných opatření. Rozhodovací proces vyžaduje jistou odvahu úřadů při hledání výhodných řešení. Není možné, aby se spoléhaly na maximální opatření tak, aby se vyhnuly obviňování či odpovědnosti.

SHRNUTÍ

Subjekty zainteresované na infrastrukturních projektech by se měly pokusit přemýšlet o penězích, které se mají investovat, jako by byly jejich vlastní. Zaujmutí takového přístupu je nejlepší metodou pro zajištění, aby se projekt realizoval optimálním způsobem.

Technické normy a předpisy se musí revidovat. Namísto dodržování normativních předpisů je užitečné hodnocení bezpečnostních opatření pomocí analýzy rizik. Základní systémová rozhodnutí, která mají největší vliv na náklady, by měla být v první řadě založena na jednoduchých empirických pravidlech podle odborných znalostí, a teprve ve druhé řadě na analýze rizik se zaměřením na požární riziko.

Riziko požáru by se mělo počítat na základě analýzy scénářů, srovnávající různé varianty bezpečnostních opatření pro běžné a kritické scénáře. Tato opatření by se měla posuzovat podle nákladů na ně a jejich přínosů s použitím odhadů „nákladů na zachráněný život“ a „nákladů na zabráněnou škodu“.

Podle zvoleného systému se musí stanovit jasné úkoly a pro tyto úkoly se musí definovat postup ověřování. Nejvyšší důležitost mají podrobné specifikace pro zajištění kvality, provoz a řízení a postupy zkoušení a uvádění do provozu. Pro trvalé zlepšování se musí používat praktické zkušenosti.

Pro hodnocení a kontrolu projektové dokumentace je podstatný názor odborníků s praktickými zkušenostmi. Odborníci se musí vybírat na základě ověřeného přehledu dosud realizovaných staveb, které úspěšně prošly přísnými přijímacími zkouškami.

Cílem by měly být jednoduché a inteligentní koncepce. Se zvyšující se složitostí roste chybovost a celková bezpečnost klesá. Investice do inteligentní inženýrské přípravy může ušetřit stonásobek nákladů stavby. Placení inženýrské přípravy na základě investičních nákladů není dobrou pobídkou pro dosažení těchto cílů.

**ING. PETR POSPÍŠIL, petr.pospisil@gruner.ch,
GRUNER AG, Basilej**

Recenzoval: doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc.

An important aspect is that you cannot predict the future by taking into account past experience. In practice, worse scenarios can occur, of which nobody has previously thought of. It is usually only after such an incident that public opinion may criticise the lack of appropriate measures. The decision process requires some courage from the authorities when looking for useful solutions. Maximum provisions cannot be relied upon just to avoid blame.

SUMMARY

The stakeholders of infrastructure projects should try to think of it as their own personal money being invested. Having such an attitude is the best method of ensuring that the project is done in an optimal way.

Technical norms and regulations must be revised. Instead of following prescriptive regulations, a risk based evaluation of safety measures is useful. Basic system decisions, which have the biggest impact on costs, should be based in first order on simple rules of thumb by expert knowledge, and in second order on risk analysis, focusing on fire risk.

The risk of fire should be calculated based on a scenario analysis, comparing different variants of safety measures for common and critical scenarios. These measures should be assessed according to their costs and benefits, using estimations of 'costs per life saved', and 'cost of avoided damage'.

According to the selected system, clear tasks must be established, and for those tasks, the verification process defined. Detailed specifications of quality assurance, operation and control and testing and commissioning procedures are of utmost importance. Practical experience must be used for ongoing improvement.

The opinion of experts with practical experience is essential for assessment and design review. Experts must be chosen on the basis of a proven record of realised projects, having successfully passed rigorous acceptance tests.

Simple, intelligent concepts should be aimed for. The error rate grows with increasing complexity, and the overall safety decreases. An investment in intelligent engineering can save a hundredfold in project costs. Engineering fees based on investment costs are not a good incentive in achieving these aims.

**ING. PETR POSPÍŠIL, petr.pospisil@gruner.ch,
GRUNER AG, Basilej**

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Risk analysis for road tunnels, PIARC 2008
- [2] TP 229, Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací – Technické podmínky. Eltodo EG, a. s., 2010
- [3] Leitfaden für Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln gemäß RABT 2006 (Abschnitt 0.5), BMVBS, BASt (D), July 2008
- [4] Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC 1999
- [5] Viscusi, W. K., Gayer, T. Safety at Any Price? *Regulation*, vol. 25, no. 3/2002
- [6] Spengler, H. Kompensatorische Lohndifferentiale und der Wert eines statistischen Lebens in Deutschland. *Zeitschrift für Arbeitsmarktforschung* 3/2004
- [7] Nyvlt, O., Privara, S., Ferkl, L. *Probabilistic risk assessment of highway tunnels*. CVUT, June 2010
- [8] Bassler, A., Felix, R., Scheiwiller, A. Methodik für die Risikoanalyse von Tunnels der Nationalstrasse. Dokumentation Programm TURAM-ASTRA, Gruner AG, March 2011
- [9] Knuchel, R., Bassler, A., Felix, R. Tunnel safety in an alpine region, 6th ICTSRT Hamburg, May 2011
- [10] Pospisil, P. Acceptance tests of tunnel ventilation systems. *Tunel*, no. 4/2007
- [11] Langner, V., Hagenah, B., Pospisil, P. The benefit of event tree analysis for the ventilation design of railway tunnels. BHR 14th ISAVT, May 2011
- [12] Gigerenzer, G. *Calculated Risks: How to Know When Numbers Deceive You*. New York : Simon & Schuster, 2002. ISBN 0-7432-5423-6

FOTOREPORTÁŽ ZE STAVBY PRODLOUŽENÍ TRASY VA PRAŽSKÉHO METRA

PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE PRAGUE METRO LINE VA EXTENSION



Obr. 1 Dvojkolejný tunel za stanicí Motol (foto J. Husák)
Fig. 1 Double-track tunnel behind Motol station (photo courtesy of J. Husák)



Obr. 2 Hloubení stavební jámy vč. sjízdné rampy pro ražbu stanice Veveslavín (foto J. Junek)
Fig. 2 Digging the construction trench incl. the inclined ramp for construction of Veveslavín mined station (photo courtesy of J. Junek)



Obr. 3 Připravený portál pro ražbu trojlodní stanice ze stavební jámy Veveslavín (foto M. Chotár)
Fig. 3 The portal prepared for the excavation of the triple-span station from the Veveslavín construction trench (photo courtesy of M. Chotár)



Obr. 4 Ražba a rozfázání stanice Petřiny (foto J. Junek)
Fig. 4 Driving the Petřiny mined station tunnels (photo courtesy of J. Junek)



Obr. 5 Ražba dvojkolejného tunelu ze stanice Motol (foto J. Junek)
Fig. 5 Driving the double-track tunnel from Motol station (photo courtesy of J. Junek)



Obr. 6 Ražba přístupové štoly František do stanice Červený vrch (foto J. Husák)
Fig. 6 Driving the František access tunnel to Červený vrch station (photo courtesy of J. Husák)



Obr. 7 Ražba stanice Červený vrch (foto J. Junek)
Fig. 7 Driving Červený vrch station tunnels (photo courtesy of J. Junek)



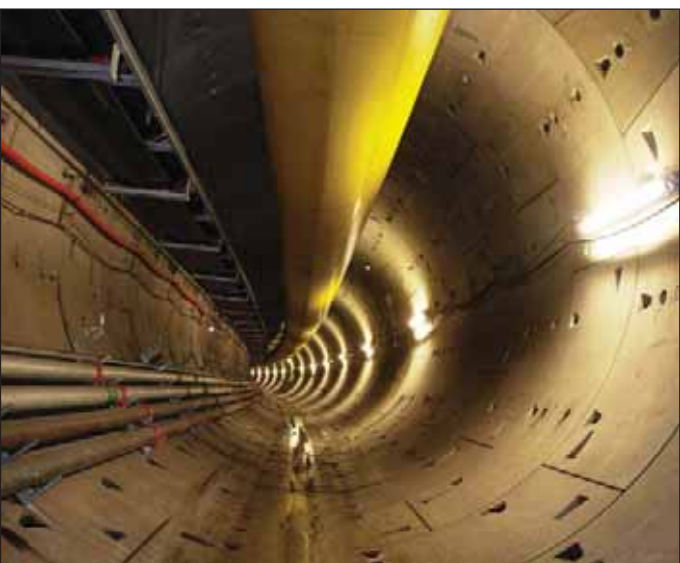
Obr. 8 Provádění primárního ostění pravého dílčího výrubu stanice Petřiny (foto J. Junek)
Fig. 8 Installation of primary lining of the right-hand partial drift for Petřiny station (photo courtesy of J. Junek)



Obr. 9 Den otevřených dveří na ZS Vypich (foto J. Junek)
Fig. 9 Doors Open Day at the Vypich site facility (photo courtesy of J. Junek)



Obr. 10 Montáž stroje zeminového štítu Adéla (foto J. Tatar)
Fig. 10 Assembly of Adéla EPB shield (photo courtesy of J. Tatar)



Obr. 11 Traťový tunel vyražený zeminovým štítem Tonda (foto J. Junek)
Fig. 11 The running tunnel being driven by Tonda EPB shield (photo courtesy of J. Junek)



Obr. 12 Dopravníkové pásy od zeminových štítů s mezideponií rubaniny (foto J. Tatar)
Fig. 12 Belt conveyors running from EPB shields and the muck stockpile (photo courtesy of J. Tatar)

FOTOREPORTÁŽ ZE STAVBY HLOUBENÉHO TUNELU OSEK PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE OSEK COVER-AND-CUT TUNNEL



Obr. 1 Zemní práce a zajištění stavební jámy
Fig. 1 Earthmoving work and stabilisation of construction trench



Obr. 2 Stavební jáma a základové pasy ostění
Fig. 2 Construction trench and footings under the lining



Obr. 3 Ocelové rámy samonosné výztuže „falešného“ primárního ostění
Fig. 3 Steel frames forming the self-supporting reinforcement of the “false” primary lining



Obr. 4 Nástřik primárního ostění
Fig. 4 Application of primary lining shotcrete



Obr. 5 Postupné symetrické zasypávání tunelu
Fig. 5 Successive symmetric backfilling of the tunnel



Obr. 6 Bednicí vůz pod „falešným“ primárním ostěním
Fig. 6 Traveller formwork under the “false” primary lining

Podzemní stavitelství

- Bezalkalické urychlovače pro stříkané betony
- Produkty pro TBM
pěny pro zlepšení vlastností půdy, polymery, tmely a maziva
- Výrobky pro spárování a konsolidaci
- Výrobky pro opravy, ochranu a povrchovou úpravu betonu
- Výrobky pro hydroizolaci
syntetické izolační membrány
příslušenství hydroizolací a stříkané pryskyřice



Cholupický tunel



Tunel Jablunkov



Tunel Blanka



Olbramovický tunel



SYSTEMY A ŘEŠENÍ

pro hloubené tunely



pro ražené tunely



armovací a izolační vozíky



 **ULMA**

Construcción

CZ

Dáváme tvar betonu

BEDNÍČÍ SYSTÉMY SKRUŽE A LEŠENÍ TECHNICKÝ SERVIS

PRODEJ A PRONÁJEM
BEDNÍČÍCH, PODPŮRNÝCH A LEŠŇOVÝCH SYSTÉMŮ,
pro realizaci hloubených a ražených tunelů, vyžaduje
dlouhodobou zkušenost v oblasti návrhů technických řešení
a asistenci na staveništi, ve všech fázích realizace projektu.

ULMA Construcción CZ, s.r.o.
Průmyslová 1009
29471 BENÁTKY NAD JIZEROU (Czech Republic)
Tel. + 420 326 910 600
Fax: + 420 326 910 601
info@ulma-cz.cz

ALPI AG - SPA
Zona Industriale Est
390035 MONGUELFO, Bolzano (Italy)
Tel. +39 0474 94 74 00
Fax: +39 0474 94 74 99
info@alpionline.net



www.ulma-c.com - www.alpionline.net

alpi



Smluvní podmínky FIDIC

Lukáš Klee

499 Kč 456 stran, vazba vázaná

Tato monografie je na českém a slovenském trhu prvním uceleným pohledem na problematiku vzorových smluv o dílo výstavbových projektů vydávaných Mezinárodní federací konzultačních inženýrů.

Knihu využijí jak zadavatelé, subjekty dozoru, zhotovitelé, konzultační inženýři, tak znalci, poradci, advokáti, podnikoví právníci, rozhodci nebo soudci.

Publikace obsahuje jako přílohu kompletní znění tří nejpoužívanějších vzorů (červené, žluté a stříbrné knihy), vzorové dokumenty pro claim management a čtyřjazyčný slovník nejpoužívanějších výrazů a obrátů.



Udržitelné pořizování staveb (ekonomické aspekty)

Renáta Schneiderová Heralová

299 Kč 260 stran, vazba brožovaná

Kniha se zaměřuje na ekonomickou efektivnost udržitelného pořizování staveb, přičemž hlavní myšlenkou je posuzovat stavby z hlediska celkových nákladů vynakládaných během jejich dlouhé životnosti. Kniha podává ucelenou informaci o možnostech a postupech analýzy a kalkulace nákladů životního cyklu (Life Cycle Costing - LCC) staveb v jejich jednotlivých fázích tzn. ve fázi předinvestiční, investiční, užívání a likvidace. Na příkladu přípravy veřejné stavby je uvedena aplikace metodiky. Rozsáhlá přílohová část nabízí podrobnější postup kalkulace nákladů na pořízení stavby pro účely analýzy LCC, postup tvorby plánu nákladů životního cyklu a jeho aktualizace a přehled potenciálních rizik s dopadem do nákladů životního cyklu stavby.



Zákon o veřejných zakázkách Komentář

2. vydání

Vilém Podešva, Miloš Olík, Martin Janoušek, Jakub Stránský

775 Kč 648 stran, vazba vázaná

Od účinnosti zákona uplynulo několik let, během nichž byl zákon nesčetněkrát použit a toto použití přineslo celou řadu otázek, nových pohledů, sporů, řešení a rozhodnutí. Zcela odlišná je situace v oblasti rozhodovací praxe, neboť zatímco v okamžiku vydání původního komentáře existovala pouze rozhodnutí týkající se již neúčinného zákona č. 40/2004 Sb. a rozhodnutí evropských soudních orgánů, během své platnosti byl současný zákon podroben již řadě zkoumání a výkladů, jak ze strany Úřadu pro ochranu hospodářské soutěže, tak orgánů soudních, a rozhodovací praxe je tak dnes již poměrně bohatá. Komentář proto bylo možné celkově výrazně rozšířit a konfrontovat, jak s nashromážděnými praktickými zkušenostmi a problémy, tak s rozhodovací praxí.

Wolters Kluwer ČR, a. s., U Nákladového nádraží 6, 130 00 Praha 3, tel.: 246 040 400; fax: 246 040 401; e-mail: obchod@wkcr.cz; www.wkcr.cz

Publikace Wolters Kluwer



ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES ITA WTC 2011 A 37. VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ ITA-AITES ITA WORLD TUNNEL CONGRESS WTC 2011 AND 37TH ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY

The ITA World Tunnel Congress WTC 2011, which is the annual most important meeting of professionals and companies from the field of underground construction, was held from 20th through 25th May 2011 in the Finnish capital, Helsinki. Over 1400 persons attended the event. Thirty six attendees arrived to the Congress from the Czech Republic, therefore, the Czech delegation was among the more numerous.

The Congress theme was: *Underground Space in the Service of a Sustainable Society*.

Even the technical exhibition was taken part in amply. One of the stands was presented by Metrostav a. s., which is currently driving tunnels in Finland for the project of the Helsinki metro extension.

There were meetings of the ITA-AITES Executive, Working Groups and, above all, the 37th ITA-AITES General Assembly held within the framework of the WTC 2011 in Helsinki. The General Assembly was attended by 49 member countries or their deputies of the total number of 64. This number already contains 6 new members: Azerbaijan, Belarus, United Arab Emirates, Nepal, Panama and Serbia.

One of the main results of the General Assembly session is the acceptance of a partial change in the Articles of Association, a change in the duration of a fiscal year and a modification of member fees.

SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES ITA WTC 2011 V HELSINKÁCH

Každoroční nejvýznamnější setkání odborníků a firem z oboru podzemních staveb Světový tunelářský kongres ITA WTC 2011 se konal od 20. do 25. května 2011 v hlavním městě Finska v Helsinkách. Zúčastnilo se ho přes 1400 osob. Z České republiky přijelo na kongres 36 účastníků, takže česká delegace patřila k těm nejpočetnějším. Kongres se konal ve Finlandia Hall, která je významným architektonickým dílem architekta Alvara Aalta. Budova byla předána do provozu v roce 1975 a byla místem konání závěrečného aktu konference o bezpečnosti a spolupráci v Evropě.

Tématem kongresu bylo *Podzemní prostory ve službě udržitelného rozvoje společnosti*.

Bohatě byla obeslána i odborná výstava. Jeden ze stánků zde měla i společnost Metrostav, a. s., která v současné době provádí razičské práce na rozšíření helsinského metra. Řada českých



Obr. 1 Pohled do Finlandia Hall před zahájením kongresu
Fig. 1 View of the Finlandia Hall before opening of the Congress

a slovenských účastníků se na tuto stavbu, o které lze informace získat na str. 20 tohoto časopisu v článku Ing. Václav Pavlovského a Ing. Aleše Gotharda, podívala při neoficiální exkurzi zajištěné firmou Metrostav, a. s., ve čtvrtek 25. května 2011.

Organizátoři kongresu vybrali k přednesu pět příspěvků od českých autorů.

37. VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ ITA-AITES

V rámci WTC 2011 v Helsinkách jednala exekutiva ITA-AITES, její pracovní skupiny a především se konalo 37. valné shromáždění ITA-AITES. Zúčastnilo se ho nebo bylo zastoupeno 49 z celkového počtu 64 národních členů ITA. V tomto počtu je již započteno 6 nových členů, kterými jsou: Ázerbájdžán, Bělorusko, Spojené arabské emiráty, Nepál, Panama a Srbsko.

Jedním z hlavních výsledků jednání valného shromáždění je přijetí dílčí změny stanov, změna trvání finančního roku, který bude začínat 1. dubna b.r. a končit 31. března roku následujícího. Zvýšily se roční členské příspěvky a upravila se kategorizace členů ITA.

Zazněla také informace o přípravě ustavení nového výboru ITA-TECH zaměřeného na rozvoj nových technologií.

Valné shromáždění také rozhodlo o pořadateli WTC 2014. Ze tří uchazečů – Austrálie, Brazílie a Singapuru vypadla po prvním kole voleb Austrálie. Z důvodu stejného počtu hlasů bylo nutné rozhodnout v druhém kole mezi Brazílií a Singapurem. V něm zvítězila o jeden hlas Brazílie, takže

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 2/2011 TUNNELLERS' AFTERNOON 2/2011

The 2nd Tunnellers's Afternoon was held in Masaryk College of the Czech Technical University in Prague 6 – Dejvice on Wednesday the 1st June 2011. Its topic, Construction planning and construction of the Prague metro Line VA, using full-face tunnelling machines, received great attention from the professional public.

The afternoon seminar was preceded by a morning excursion to the construction site. The attendees were divided into two



Obr. 2 Ing. Václav Pavlovský (vlevo) a Ing. Boris Šebesta při výkladu o části stavby helsinského metra zajišťované firmou Metrostav, a. s.
Fig. 2 Ing. Václav Pavlovský (for the left) and Ing. Boris Šebesta presenting the paper on the part of the Helsinki metro being built by Metrostav a. s.



Obr. 3 Pohled na čelbu tunelu raženého v charakteristicky zbarvené finské žule
Fig. 3 View of the excavation face of the tunnel driven through the characteristically coloured Finnish granite

ITA WTC 2014 se bude konat v Sao Paulu od 9. do 15. května 2014.

Příští rok se koná ITA WTC 2012 v Bankoku od 18. do 23. května 2012, v roce 2013 je hostitelem ITA WTC 2013 od 31. května do 5. června 2013 švýcarská Ženeva.

groups to see the EBP shield supplied by Herrenknecht AG, which is driving a running tunnel, and the conventional driving of Petřiny station.

Za velké pozornosti odborné veřejnosti se ve středu 1. června 2011 konalo v Masarykově koleji ČVUT v Praze 6-Dejvicích 2. Tunelářské odpoledne v roce 2011, jehož tématem byla *Příprava a výstavba trasy VA pražského metra s využitím technologie EPBS*.



*Obr. 1 Dipl.-Ing. Gottlieb Blažek při přednesu svého příspěvku
Fig. 1 Dipl.-Ing. Gottlieb Blažek delivering his speech*

Vlastnímu odpolednímu semináři předcházela dopoledne exkurze na stavbu. Sraz na exkurzi byl na staveništi Vypich a její účastníci rozdělení do dvou skupin si prohlédli zeminový štít dodaný firmou Herrenknecht nasazený na ražbě tratového tunelu a konvenční ražbu stanice Petřiny. Organizaci exkurze zajistili a zasvěcený výklad podali pracovníci firmy Metrostav, a. s.

ŠVÝCARSKÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES 2011 SWISS TUNNEL CONGRESS 2011

The annual meeting of Swiss tunnellers was held in Luzern on 9th and 10th June 2011, under the main slogan "Switzerland – the land of tunnels".

The morning programme on 9th June 2011 contained technical papers dedicated first of all to the most important domestic projects – the Gotthard base tunnel (more or less in the context of the process of its completion), successful starting of the Genéri base tunnel construction and extremely ambitious reconstruction of the main railway station and the entire railway junction in Zurich. The papers read during the afternoon programme dealt with other demanding domestic projects (CEVA transportation link in the agglomeration of Geneva, the Eyholz tunnel on the by-pass

Podle možností stavby byl stanoven maximální počet účastníků na padesát. Zájem o exkurzi byl obrovský – přihlásilo se přes 140 zájemců. Přednost nakonec dostali mimo-pražští a zájemci z organizací státní správy. Pro ty, na které se nedostalo, bude snaha zorganizovat další exkurzi v podzimních měsících t. r.

Odpoledního programu se zúčastnilo 135 osob. Je možno konstatovat, že všechny přednášky byly velmi pečlivě připravené a obsahovaly mnoho zajímavých informací. Témata přednesených přednášek následují (tučně jsou vyznačeni přednášející):

Ing. David Krása, Ing. Jiří Růžička, Ing. Otakar Hasík (Metroprojekt Praha, a. s.) – Historie návrhů, projektová a investorská příprava, umístění stanic a tunelů

Ing. Martina Urbánková, Tomáš Urbánek, Ing. Josef Kuňák (Metroprojekt Praha, a. s.) – Statické řešení segmentového ostění

Ing. Boris Šebesta, Ing. David Cyroň, Dr. Ing. Petr Vitek (Metrostav, a. s.) – Technologie EPBS

Mgr. Lucie Bohátková, Jakub Bohátka, Mgr. Jiří Rout, Mgr. Jiří Tlamsa (Arcadis Geotechnika, a. s.) – Geologické výlety s překvapením v trase metra VA

Dipl.-Ing. Gottlieb Blažek (Hochtief Construction AG) – Průběh NRTM ražeb trasy metra VA

Ing. Miroslav Vlk, Ing. Miloslav Salač, Ing. Jiří Břichnáč (Metrostav, a. s.) – Výstavba stanice Petřiny s přístupovou štolou Markéta

Ing. Jan Panuška (Subterra, a. s.) – Zkušenosti z výstavby stanice Veleslavín

Jakub Bohátka, Ing. Tomáš Ebermann, Ing. Ondřej Hort (Arcadis Geotechnika, a. s.), **Ing. Martin Vinter** (INSET, s. r. o.) – Kontinuální zpráva o geomonitoringu na konvenčních a mechanizovaných ražbách trasy metra VA

Druhé Tunelářské odpoledne 2011 bylo velmi úspěšné také proto, že po skutečně dlouhé době je v České republice opět nasazen při ražbě celoprofilový tunelovací stroj, tentokrát ovšem se jedná o zeminový štít odpovídající současné světové technické a technologické úrovni.

**ING. MILOSLAV NOVOTNÝ, novotny@metrostav.cz,
sekretář CzTA ITA-ATIES**

road around the town of Visp on the A9 Swiss motorway) or the participation of Swiss tunnellers in important projects abroad (transport tunnels for the OG 2014 in Sochi), but also large underground construction projects in the world.

The Swiss Tunnel Congress 2011 itself was preceded by the traditional "Swiss Tunnel Colloquium 2011" in the afternoon and early evening of 8th June 2011. Its topic "Logistics in Underground Construction" was interesting first of all for contractors.

The offer of excursions was also rich. Four of the five planned visits to construction sites took place on 10th June 2011.



Obr. 1 Prezentace účastnických organizací ITA-AITES – CzTA chybí
Fig. 1 Presentation of the attending ITA-AITES organisations – the CzTA is missing

Ve dnech 9. a 10. 6. 2011 se konalo v Luzernu v KKL (Kultur- und Kongresszentrum Luzern) každoroční setkání švýcarských tunelářů pod ústředním heslem „Švýcarsko – země tunelů“. Průběh kongresu byl tradiční.

Vlastnímu kongresu předcházela změna ve vedení švýcarských tunelářů. Z funkce prezidenta FGU (Fachgruppe für Untertagebau – Swiss Tunnelling Society) odstoupil p. Felix Amberg, který se ujal vedení přípravného výboru světové tunelářské konference 2013 v Ženevě. Na místo prezidenta pak nově nastoupil p. Martin Bosshard.

Dopolední program dne 9. 6. 2011 sestával z odborných referátů věnovaných především nejvýznamnějším domácím projektům – bazovému tunelu Gotthard (viceméně v souvislosti s jeho dokončováním), zdárnému rozjezdu stavby bazového tunelu Ceneri a mimořádně ambiciózní přestavbě hlavního nádraží a celého železničního uzlu v Zürichu. Přednášky odpoledního programu se týkaly jak dalších náročných domácích projektů (dopravní spojení CEVA v aglomeraci Ženevy, tunel Eyholz na obchvatu města Visp



Obr. 2 Referující na kongresu při závěrečné diskusi
Fig. 2 Authors of papers read on the Congress during the final discussion

na švýcarské dálnici A 9) či účasti švýcarských tunelářů na významných dílech v zahraničí (dopravní tunely pro OH 2014 v Soči), tak i velkých podzemních staveb ve světě.

Z významných světových projektů byly prezentovány následující:

- elektrárenský tunel Niagarské vodopády,
- Brenerský bazový tunel,
- nově plánovaný bazový tunel mezi Savojskem a Piemontem na VR trati Lyon – Turin,
- Pajares tunel v Asturii a (v současné době velmi zpolitizovaný),
- největší podzemní projekt v SRN – Stuttgart 21.

Příspěvek o nejdelším 62 km dlouhém kanalizačním tunelu světa v hlavním městě Mexika nebyl pro nepřítomnost referujícího přednesen.

Program následujícího dne 10. 6. 2011 vyplnily odborné exkurze. Okruh A navštívil fascinující a mimořádně rozsáhlý soubor nových železničních podzemních staveb v Zürichu – nádraží Löwenstrasse a Weinbergtunnel. Okruh B finišující stavbu bazového tunelu Gotthard (pracoviště Faido). Okruh C stavbu bazového tunelu Ceneri (pracoviště Sigirino). Okruh D stavbu tunelu Eyholz na A 9 na obchvatu města Visp. A konečně exkurze okruhu E již v předstihu navštívila v pozdních večerních a nočních hodinách dne 8. 6. 2011 ve výlukách rekonstruovaný dálniční tunel Sonnenberg přímo na okraji Luzernu.

Jak vlastní přednáškový program, tak organizace exkurzí se vyznačovaly tradiční švýcarskou precizností. Vyniká to především u exkurzí, kdy byl organizátory obdivuhodně zajištěn plynulý pohyb většího množství návštěvníků rozdělených do menších skupin za plného provozu staveb. To platí přirozeně i pro velmi vřelé večerní společenské setkání v hotelu Schweizerhof.

Vlastnímu Švýcarskému tunelářskému kongresu 2011 předcházelo v odpoledních a podvečerních hodinách dne 8. 6. 2011 tradiční Švýcarské tunelářské kolokvium 2011 na, především pro zhotovitele mimořádně zajímavé, téma: *Logistika v podzemním stavitelství*.

Již k jednání kongresu byl k dispozici výpravně vyvedený tištěný sborník všech přednesených přednášek včetně



Obr. 3 Foto z exkurze – okruh A (Zürich): Předstihové zřízení svislých nosných prvků pro podzemní prostory – mikropilotové bárky
Fig. 3 Photography from the excursion to the A Ring Road (Zurich): Micropile trestles - vertical load-bearing elements for underground spaces prepared in advance

kolokvia. Jedná se zde již o 10 díl postupně vydávaných sborníků. Samozřejmostí je současné zveřejnění přednášek na elektronickém nosiči.

I když se jednalo o výrazně národní setkání (podle příloženého seznamu se jednání kongresu zúčastnilo 556 domácích odborníků v podzemním stavitelství) byl nezanedbatelný počet účastníků rovněž ze zahraničí (53 z SRN, 23 z Rakouska, 5 z Francie, 3 ze Španělska, 2 z Itálie a po jednom z Belgie, Řecka a USA; v tom i 3 účastníci z ČR). Je pouze ke škodě, že se kongresu nezúčastnilo více odborníků z ČR – vložné na účast jednání včetně exkurze bylo stanove-

no velmi mírné – pro nečlena FGU (Švýcarské tunelářské společnosti) 585 CHF (450 €), pro seniory a studenty jen 245 CHF (190 €). Tato „láce“ patrně souvisí vedle neobyčejné otevřenosti švýcarské společnosti vůči podzemnímu stavitelství i s mimořádně širokou prezentací sponzorských firem.

DOC. ING. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
horak.vl@fce.vutbr.cz, Fakulta stavební VUT v Brně,
ING. VLASTIMIL HORÁK, vhorak@amberg.cz,
AMBERG ENGINEERING Brno, a. s.

JEDNÁNÍ PRACOVNÍ SKUPINY WG 2 TC.C4 PIARC V PRAZE MEETING OF WORKING GROUP WG2 TC.C4 PIARC IN PRAGUE

A meeting of the Working Group on Road tunnel safety was held in Prague on 11th – 12th April 2011. It was attended by 19 members from 14 PIARC member countries. Four attendees of the above-mentioned number were from the CR. The meeting of the Working Group was the last held during its term 2008 – 2011, before the PIARC Congress to be held in Mexico City in September. of Petřiny station.

Ve dnech 11.–12. 4. 2011 se v Praze konalo jednání pracovní skupiny Bezpečnost v silničních tunelech. Jednání pracovní skupiny bylo posledním za období činnosti 2008–2011 před kongresem PIARC v září v Mexico City.

V souladu s předpokladem zpracovala pracovní skupina WG 2 za uvedené období dva dokumenty. Dokument *Current practice for risk evaluation of road tunnels* shrnuje současné používání postupů používaných na územích členských, zejména evropských, členů společnosti PIARC při hodnocení bezpečnosti v tunelech pozemních komunikací s použitím rizikové analýzy. Dokument *Improving safety in existing tunnels* informuje o dosavadních zkušenostech s provedenými úpravami podmínek bezpečnosti provozu ve dříve zřízovaných tunelech pozemních komunikací. Závěrečné schválení obou dokumentů proběhlo krátce před

pražským jednáním na jednání celé části C 4 PIARC v Xiamen v Číně. Tohoto jednání se účastnil zástupce ČR pro část TC.C 4 PIARC pan prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.

Druhý den pražského jednání byl věnován diskusi k návrhům výstupů strategického zaměření činnosti PIARC na další období jeho činnosti 2012–2015. Jednání druhého dne probíhalo za účasti prezidenta části C 4 PIARC pana Pierra Schmitze. Do programu jednání byla zařazena prezentace technického řešení a stávajícího stavu výstavby tunelu Blanka připravená společností Satra, s. r. o.

Pražské jednání skupiny WG 2 proběhlo za účasti celkem 19 účastníků ze 14 členských zemí společnosti PIARC. Z uvedeného počtu byli čtyři účastníci jednání z ČR.

Dvoudenní jednání skupiny WG 2 konané na Novotného lávce v Praze bylo organizováno sekci Tunely ČSS a financováno ve spolupráci České silniční společnosti a České tunelářské asociace ITA-AITES. Díky úspěšné spolupráci proběhlo závěrečné jednání skupiny WG 2 jako důstojná prezentace podílu činnosti ČR na činnostech PIARC v končícím období 2008–2011.

ING. JIŘÍ SMOLÍK, jsmolik@subterra.cz,
sekce Tunely ČSS

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

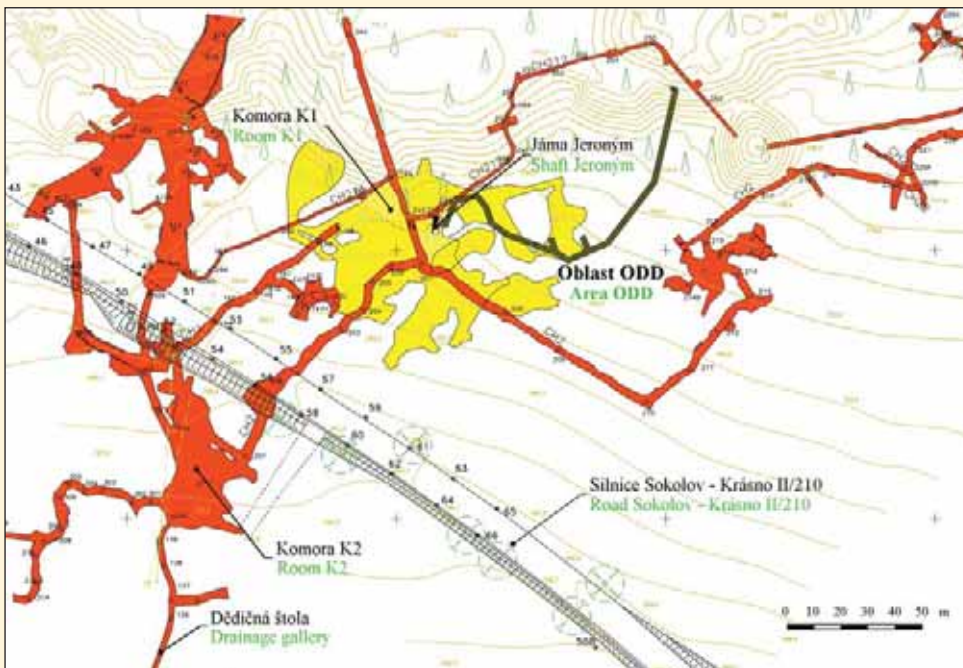
DŮL JERONÝM V ČISTÉ – GEOGRAFIE, GEOLOGIE A HISTORIE JERONÝM MINE IN ČISTÁ – GEOGRAPHY, GEOLOGY AND HISTORY

The complex of underground structures and mine workings forming the Jeroným Mine in Čistá is a technical monument that remained preserved owing to a set of favourable circumstances. From the geographical point of view, Čistá locality is found in Slavkov Forest, west of the village of Krásno, the district of Sokolov, the region of Karlovy Vary. The underground spaces (sub-horizontal, slanted or vertical linear workings, chambers, hacks) are formed by abandoned mine workings and old mine workings. It has been proved that both systems of underground workings formed a single complex in the past, which was drained through Jeroným

sough, but deep falling of roofs happened during the course of time and today unknown workings collapsed.

From the historic aspect, the technical monument “Jeroným Mine” supplements the montane monuments, first of all in the area of extraction and processing of tint for an over 400 years long prospecting and extracting period. In terms of the history of ore mining and underground workings, the “Jeroným Mine” is an object of European importance.

The paper deals with geography and geological situation of the locality, the spatial layout of the Jeroným Mine and characteristics of underground workings in the condition in



Obr. 1 Výsek důlní mapy a topografie povrchu části Opuštěných důlních děl (ODD)
Fig. 1 Part of a mine map and topography of the surface of a part of the abandoned mine workings

which they existed or were discovered and the decision was made that they would be made accessible for both the professional and lay public.

Soubor podzemních a důlních děl Dolu Jeroným v Čisté představuje technickou památku, která zůstala zachována díky



Obr. 2 Rekonstruovaná dědičná štola Jeroným
Fig. 2 Reconstructed Jeroným sough



Obr. 3 Ukázka důlní chodby
Fig. 3 Illustration of a drift



Obr. 4 Ukázka razící práce želízkem a mlátkem
Fig. 4 Illustration of mining work using a drag and a holing pick

souhrnu příznivých okolností. Z geografického hlediska se lokalita Čistá nachází ve Slavkovském lese, západním směrem od obce Krásno v okrese Sokolov, Karlovarský kraj. Podzemní prostory (liniová díla subhorizontální, úklonná i svislá a komory a zátinky) tvoří opuštěná důlní díla a stará důlní díla. Je prokázáno, že oba soubory podzemních děl tvořily v minulosti jeden komplex, který byl odvodňován dědičnou štolou Jeroným, ale v průběhu času došlo k hlubokému zaborení stropů a k zavalení dnes neznámých podzemních děl.

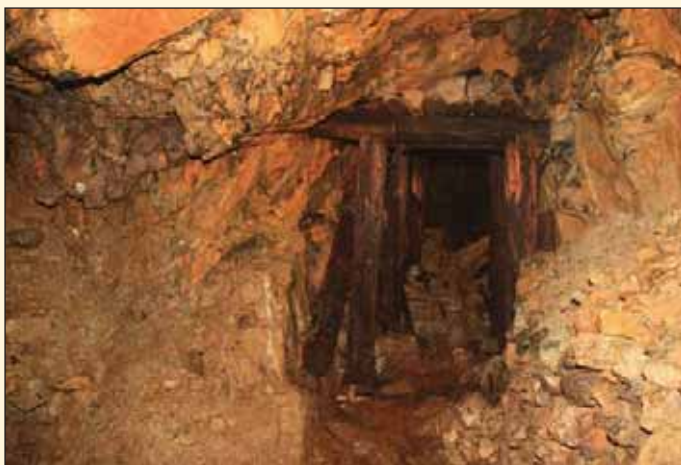
Z hlediska historického doplňuje technická památka „Důl Jeroným“ fond montánních památek, zejména v oblasti těžby a zpracování cínu za období přes 400 let průzkumu a těžby a z pohledu historie rudného hornictví a podzemních děl je Důl Jeroným objektem evropského významu.



Obr. 5 Ukázka komory (širiny) se stopami ručního dobývání
Fig. 5 Illustration of a chamber with traces of hand mining

Příspěvek se zabývá geografii a geologickou situací lokality, prostorovou situací Dolu Jeroným a charakteristikou podzemních děl, a to ve stavu, ve kterém se díla nacházela nebo byla objevena a bylo rozhodnuto o zpřístupnění památky odborné a laické veřejnosti.

Geograficky se lokalita Čistá nachází u obce Krásno v okrese Sokolov, Karlovarský kraj. Je součástí CHKO Slavkovský les.



Obr. 6 Výdřeva skladiště trhavin z období 2. světové války
Fig. 6 Timbering of a magazine from the time of World War 2

Geologicky patří lokalita do jižního okraje masivu Kudrum s cíno-wolframovým zrudněním v křemenných žilách nebo v alberovaných granitech.

Rozvoj dolování začal v 16. století (prokazatelně od roku 1551). Doly byly ale pasivní, v 19. století klasifikovány jako sešlé a sporadická těžba a průzkum byly ukončeny v roce 1965. Zůstaly však zachovány a představují historicky cennou památku.

Podzemní prostory Dolu Jeroným [1] tvoří dvě dnes oddělené části. Opuštěná důlní díla (ODD, obr. 1) a Stará důlní díla (SDD) objevená v roce 1982. Toto rozdělení je administrativní, protože v roce 2009 byly obě části převedeny pod správu Karlovarského kraje. Domněnka, že obě části tvořily v minulosti jeden celek, byla potvrzena barvicím pokusem.

Charakteristika podzemních a důlních děl Dolu Jeroným (obr. 1)

Dědičná štola Jeroným představuje základní báňské dílo a podzemní stavbu lokality o délce cca 400 m. V sedmdesátých letech 20. století, kdy byla prostupná, došlo k hlubokému zaboření stropu a k závalu v délce cca 120 m. Po rekonstrukci je pohodlně průchozí a bezpečně zajištěná s průměrným sklonem 1,98 % a plní funkci vstupu do dolu, hlavního odvodňovacího díla a větrného spojení.



Obr. 7 Zatopené bezodtokové prostory pod úrovní štolového patra
Fig. 7 Inundated spaces without outlet under the adit level



Obr. 8 Ukázka prostorového skeletu komory a pilířů nad hladinou podzemní vody – tzv. můstek
Fig. 8 Illustration of a spatial skeleton of a chamber and pillars over the water table – the so-called bridge

Šachtice Jeroným spojuje povrch s komplexem děl v oblasti ODD. Je vyhloubena v profilu 3,3x1,0 m a zprůchodněna do hloubky 27 m, kde je zastižena strop velké komory K1. Je vybavena lezním oddělením s ocelovými žebříky a oddělením pro dopravu materiálu a plní funkci druhého vstupu do dolu a větrní cesty.

Ostatní podzemní a důlní díla v celé oblasti Dolu Jeroným jsou komplexem chodeb, dobývek, vertikálních a šikmých děl. Monumentálně působí zvláště komory (šířiny), na dobu vzniku značných rozměrů. Je zde zjištěna komora o délce 50 m, šířky 15 m a výšky kolem 10 m. Do komory K2 na úrovni štolového patra ústí dědičná štola Jeroným.

Podzemní díla jsou vysekána do skalního masivu želižkem a mlátkem a jsou bez výztuže. Na četných místech komplexu děl jsou patrné znaky jejich vzniku: práce mlátkem a želižkem, sázení ohně, suché zdi, vysekané stupy, výklenky apod.

V bezodtokových partiích a pod úrovni štolového patra se odkrývají nádherné pohledy do jezírek čiré nadržené podzemní vody, jejichž dna pravděpodobně pokračují do hlubších partií dolu. Celkově představují díla a podzemní prostory Dolu Jeroným složitý prostorový skelet, který je unikátním doložením úrovně razících a dobývacích prací v době vzniku.

Ukázka důlních a podzemních děl Dolu Jeroným je uvedena na obr. 2 až 8.

Roku 2008 byl Důl Jeroným v Čisté prohlášen národní kulturní památkou, která doplňuje fond evropských montánních památek. Od roku 2001 je na lokalitě

postupně budován systém geomechanického a geotechnického monitoringu, kterým je sledován stabilní stav lokality pro její využití v podobě hornického skanzenu. Z hlediska odborného pak podzemní prostory Dolu Jeroným a instalované instrumenty monitoringu představují výzkumnou laboratoř in situ pro výzkumné práce a pro studenty oboru geotechnika na Fakultě stavební VŠB-TU Ostrava.

Příspěvek byl zpracován za podpory Projektu Grantové agentury ČR 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické kulturní památky Důl Jeroným v Čisté“, Muzea Sokolov, p. o. Karlovarský kraj a Nadace Georgia Agricolu Slavkovský les.

DOC. ING. ROBERT KOŘÍNEK, CSc.,

robert.korinek@vsb.cz, Fakulta stavební VŠB-TU, Ostrava

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Historický důl Jeroným v Čisté – monografie. Projekt GAČR 105/06/0068 „Výzkum faktorů ovlivňujících stabilitu středověkého Dolu Jeroným v Čisté“. VŠB-TU Ostrava, Ústav geoniky AV ČR v. v. i. Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1757-6.

Foto/Photo: Ing. Radovan Kukutsch, Ph.D.

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

ČESKÁ REPUBLIKA

SOUBOR STAVEB MO V ÚSEKU MYSLBEKOVA – PELC-TYROLKA

TUNEL ŠPEJCHAR – PELC-TYROLKA (KRÁLOVSKÁ OBORA)

Pokračují práce na definitivním ostění severní tunelové trouby, propojek a vzduchotechnických objektů. K dnešnímu dni je ze 142 sekcí horní klenby dvoupruhového tunelu STT zabetonováno 95 sekcí, na 112 sekcích je položena hydroizolace a u 103 sekcí je osazena armatura. V třípruhovém

THE CZECH REPUBLIC

MYSLBEKOVA – PELC-TYROLKA SECTION OF THE CITY CIRCLE ROAD

ŠPEJCHAR – PELC-TYROLKA TUNNEL (KRÁLOVSKÁ OBORA)

The work continues on the final lining in the northern tunnel tube, cross-passages and ventilation structures. At present, casting of 95 blocks of the 142 blocks of the upper vault in the double-lane NTT has been finished, 112 blocks have the waterproofing layers installed and 103 blocks have the concrete reinforcement completed. In the triple-lane NTT, 33 blocks of the total of 52

tunelu STT je zabetonováno 33 sekcí spodní klenby z celkových 52 sekcí. Horní klenba je vybetonována u 22 sekcí, v 25 sekcích je položena hydroizolace a 23 sekcí je vyarmovaných. Byla úspěšně dokončena betonáž atypických sekcí v prostoru budoucí čerpací stanice v nejnižším místě tunelů u propojky TP 18. Bednicí vůz se vybavuje přídatným bedněním pro betonáž prvního nouzového zálivu na STT.

Stavba se nachází v závěrečné etapě betonáže definitivního ostění tunelů. Probíhá přesun bednicího vozu z JTT do STT. Dojde tak k současnemu nasazení tří bednicích vozů v jedné tunelové troubě!

Finišují rovněž práce na definitivním ostění vzduchotechnických objektů. V propojovacím kanálu SO 9021.04 je kompletně zabetonována první část objektu zvětšeného průřezu před strojovnou vzduchotechniky směrem k STT. Druhá část propojovacího kanálu o menším profilu a úsek pod tunely STT a JTT jsou dokončeny ve dně a bocích, probíhá montáž hydroizolace a armatury horní klenby a v nejbližší době bude zahájena její betonáž. V největším objektu, strojovně vzduchotechniky SO 9021.05, je dobetonováno dno a na horní klenbě zbývá dokončit poslední tři sekce z celkových 22. Definitivní ostění vzduchotechnického kanálu SO 9021.07 je téměř hotovo, zbývá dokončit poslední dvě sekce horní klenby na konci tunelu u komínu (šachty SO 9021.09) a tři sekce horní klenby ve směrovém oblouku (nutno použít zvláštní skruž vyrobenou na míru) včetně krčku do strojovny vzduchotechniky.

V propojovacím kanále mezi tunely a strojovnou vzduchotechniky byla ukončena první etapa výstavby definitivního ostění ze stříkaného betonu naneseného na fóliovou hydroizolaci. Tato technologie byla již použita u propojek TP 15 a TP 16.

Obecně lze konstatovat, že se v současné době na relativně malém prostoru v podzemí kumulují veškeré betonářské práce. Tato skutečnost klade zvýšené požadavky na koordinaci prováděných prací, zvláště s ohledem na dopravu materiálu k pracovištím s atypickými soubory bednicích prvků.

V současnosti se provádějí betonové mazaniny podlah v technických chodbách pod mostovkou dvopruhu STT a třípruhu JTT, probíhají úpravy povrchů a byly zahájeny nátěry v technických chodbách JTT s cílem připravit zahájení montáže technologického vybavení tunelů počátkem příštího roku.

TUNEL MYSLBEKOVA – PRAŠNÝ MOST (BRUSNICE)

Ražba kaloty v JTT byla ukončena 18. 7. 2011 v délce 552 m za doplňujících opatření projektanta ve staničení 3, 431 662 km. V současné době probíhá dokončení ražby spodní klenby včetně vyčištění a profilace celého tunelu.

V STT probíhá betonáž definitivního ostění tunelu včetně izolací. Spodní klenba do úrovně vozovky je provedena v celé délce tunelu 536 m a v délce 140 m je vybetonována za pojízdnou betonovací formou horní klenba tunelu.

Vzduchotechnický tunel (VZT), který je dlouhý 114 m a vede k větrací šachtě, je průběžně betonován. Definitivní ostění spodní klenby je hotovo v celé délce a betonáž horní klenby je dokončena na úseku dlouhém 52 m v oblouku včetně zaústění do technologické části mezi STT a JTT.

blocks of the invert have casting of concrete finished. The upper vault casting has been finished in 22 blocks; the waterproofing has been completed on 25 blocks and 23 blocks have the reinforcement finished. Casting of atypical sections in the space of the future pumping station in the lowest point of the tunnels, near the cross-passage TP 18, has been successfully finished. The travelling formwork is being equipped with an additional form for casting of the first lay-by in the NTT.

The construction is found at the final stage of casting of the final lining of the tunnel tubes. The travelling formwork is being transferred from the STT to the NTT. As a result, three travelling forms will be deployed in a single tunnel tube simultaneously!

The work on the final lining of the ventilation structures is being finished. In the connecting duct SO 9021.04, casting of the first part of the structure with the enlarged cross-section before the ventilation plant room (viewed in the direction of the NTT) has been completed. The second part of the connecting duct with a smaller cross-section and a section under the NTT and STT tunnels has the bottoms and side-walls finished; the installation of the waterproofing and reinforcement of the upper vault is in progress and concrete casting operations will start shortly. In the largest structure, the ventilation plant room SO 9021.05, casting of the bottom is underway and last three blocks of the total of 22 blocks of the upper vault remain to be finished. The final lining of the ventilation duct SO 9021.07 has nearly been completed; last two blocks of the upper vault, found at the tunnel end at the shaft (SO 9021.09) and three blocks of the upper vault on the horizontal curve (requiring the use of a special purpose-made form) including a neck to the ventilation plant room remain to be completed.

The initial stage of the construction of the final lining using shotcrete applied on the waterproofing membrane has been completed in the connecting duct between the tunnels and the ventilation plant room. This technology has already been applied in cross passages TP 15 and TP 16.

In general, it can be stated that all concrete casting operations are piled up in a currently relatively small space in the underground. This condition places increased demands on the coordination of the operations, especially with respect to the material transport to the work places where the atypical sets of formwork elements are required.

At the moment screed finishes are being carried out on floors in service galleries under the deck carrying the double-lane roadway in the NTT and the triple-lane roadway in the STT; surface finishes are being applied and paint coating has been started in service galleries in the STT, with the aim of preparing the installation of the tunnel equipment for the beginning of 2012.

MYSLBEKOVA – PRAŠNÝ MOST (BRUSNICE) TUNNEL

Driving of the top heading in the STT was finished at chainage km 3. 431,662 on 18 July 2011, at the length of 552 m, applying additional measures required by the designer. At the moment, the excavation of the invert, including clearing and profiling of the whole tunnel, is underway.

In the NTT, the tunnel final lining is being cast and the waterproofing is being applied. The invert up to the roadway level has been completed throughout the tunnel length of 536 m; casting of the upper vault behind a traveller form has been finished at the length of 140 m.

Casting of the 114 m long ventilation tunnel, leading to the ventilation shaft, is continually in progress. The final lining of the invert has been finished throughout the tunnel length, while casting of the upper vault has been finished along a 52 m long section found on a curve, including the connection to the part between the NTT and the STT housing services.

PRODLOUŽENÍ TRASY METRA VA

Na projektu EPBS byla zahájena ražba levého traťového tunelu (LTT) z montážní šachty umístěné na zařízení stavebního označeném jako BRE 1. Ražba tohoto úseku je prováděna strojem označeným při výrobě číslem S609. Jedná se o historicky první nasazený mechanizovaný štít typu EPB (earth pressure ballance machine) v České republice. Z toho důvodu jsou od počátku na zmíněném projektu přítomni pracovníci firmy Herrenknecht, kteří se starají v ověřovacím provozu o řízení strojního komplexu a zároveň o zaučování zaměstnanců firmy Metrostav.

První prstenec jednokolejného traťového tunelu tj. objektu značeného jako SO 07-18/01 byl sestaven 13. dubna 2011 a k datu zpracování informace jich přibylo dalších 303. To znamená, že do současnosti (ze začátku ražba probíhala pouze v denních směnách, postupně se přešlo na nepřetržitý pracovní režim) bylo vyraženo více než 450 metrů tunelu světlého průměru 5,3 metru. Tím se stroj, který dostal od dětí z motolské nemocnice jméno „Tonda“, dostal před stanicí Petřiny, kde bude čekat do doby, než bude zmíněná stanice stavebně připravena na jeho protažení.

Současně s ražbou LTT pracoval projektový tým EPBS na montáži sesterského stroje S610, který byl pojmenován jménem „Adéla“ a který bude razit pravý traťový tunel (PTT) s technologickým odstupem za „Tondou“.

Dne 18. června, v době kdy byla sestavena štítová část s razicí hlavou, byl pro laickou veřejnost uspořádán den otevřených dveří spojený se slavnostním „křtem“ stroje za účasti oficiálních představitelů města Prahy. Jedinečnou možností vidět stroj EPBS při dni otevřených dveří si nenechalo ujít zhruba 8500 návštěvníků.

Adéla byla v následujících týdnech dokončena, a tak mohl být 12. července osazen první prstenec PTT. Tak byla zahájena ražba v délce 4100 m druhého jednokolejného tunelu metra s průtahy stanicemi Petřiny, Veleslavín a Červený vrch s demontáží v obratových kolejích stanice Dejvická.

K datu sepsání příspěvku byl dokončen technologií NRTM levý boční tunel jednoklenbové stanice Petřiny (14. června 2011). Pravý boční tunel stanice se předpokládá dokončit 25. července 2011. Tím se podařilo dosáhnout na obou členěných výrubech jednoklenbové stanice cca měsíčního zkrácení termínu. Provádějí se stavební úpravy pro vjezd štítů do stanice a jejich protažení stanicí s cílem co nejdříve vytvořit podmínky pro start štítů do úseku mezi stanicemi Petřiny a Veleslavín.

V současné době vrcholí projekční příprava eskalátorového tunelu, který by měl být ražen po dobu posunu štítů (včetně jejich závěsných zařízení) v bočních tunelech jednoklenbové stanice Petřiny. Kompletní dokončení ražby celé stanice Petřiny bude možné až po přesunutí technologických a logistických vazeb do jámy E2 za stanicí Veleslavín, což je plánováno na měsíc duben 2012.

Dobrou zprávou pro stanicí Veleslavín je, že postup prací na stavební jámě dostal konečně správný rozměr a rytmus. Stavební jáma včetně přístupové rampy je hotová, a to i včetně pojízdné betonové desky a podkladního betonu na dně jámy. V současné době se provádějí ochranné deštníky (pravý, levý, střední) pro budoucí ražbu i pro dojezd EPBS v opačném směru. K 1. 8. 2011 je naplánováno slavnostní osazení sošky sv. Barbory s následným zahájením ražeb – nejdříve levého, posléze i pravého (ve směru ražby) staničního

METRO LINE VA EXTENSION

A full-face EPB tunnelling machine has started to drive the left-hand running tunnel (LRT) from the assembly shaft located on the construction site marked as BRE 1. This section is being driven by the machine which was assigned number S609 by the manufacturer. This machine is the historically first EPB mechanised shield used in the Czech Republic. For that reason employees of Herrenknecht AG are present on the above-mentioned project, taking care of the machine set control during the verification operation and training employees of Metrostav a. s.

The first lining ring of the single-track running tunnel (the structure marked as SO 07-18/01) was erected on 13th April 2011 and additional 303 rings have been completed till the date of preparing this information. This means that till now (at the beginning the tunnel was being driven only during day shifts and the uninterrupted operation only started gradually) over 450 m of the tunnel with the net diameter of 5.3 m have been finished. This advance got the tunnelling machine, which had been given the name of Tonda by children from the Motol Hospital, before Petřiny station, where it will wait until the civil works are finished in this station, allowing it to be pulled through.

Simultaneously with driving the LRT, the project team worked on the assembly of the sister machine S610, which had been given the name of Adéla and which will drive the right-hand running tunnel (RRT), lagging at a technologically necessary distance behind Tonda machine.

On the 18th June, at the moment when the shield with the cutting head assembly had been finished, a Doors Open Day was held for the lay public. It was combined with the celebration of 'christening' the machine, attended by official representatives of the City of Prague. The unique opportunity to see the full-face tunnelling machine during the Doors Open Day was not missed by about 8,500 visitors.

Adéla machine assembly was finished in the following weeks; the first lining ring was erected in the RRT on 12th July. It was the beginning of driving the 4,100 m long second single-track metro tunnel, with pulling the machine through Petřiny, Veleslavín and Červený Vrch stations and dismantling it on dead-end tracks at Dejvická station.

As of the date of preparing this contribution, the left-hand sidewall drift has been completed using the NATM at the single-vault Petřiny station (on 14th June 2011). The right-hand sidewall drift completion is planned for 25th July 2011. Owing to this performance, the about one-month reduction of the construction time at both partial headings of the single-vault station was achieved. The construction work enabling the entry of the shields into the station and their passage through the station is being carried out with the aim of creating conditions for launching of the shields to the section between Petřiny and Veleslavín stations as soon as possible.

At present, the design work on the escalator tunnel is reaching a peak. It should be driven while the shields (including the backups) are being pulled through the sidewall drifts in the single-vault Petřiny station. The full completion of the excavation of the entire station will be only possible after the technological logistical facilities are moved to the construction trench E2 behind Veleslavín station. This is expected to happen in April 2012.

Good news for Veleslavín station is the fact that the progress of the work on the construction trench has finally reached the correct dimension and rhythm. The construction trench inclusive of an access ramp has been completed, even including a trafficable concrete slab and blinding concrete at the bottom of the trench. At the moment canopy tube pre-support is being installed (right-side, middle and left-side) for the future excavation and for the arrival of the tunnelling machines in the opposite direction. The Saint Barbara statuette installation celebration is planned for 1st August 2011, to be followed by commencing the excavation – first the

tunelu, kterými budou na konci roku protaženy obě soupravy EPBS přes stanici. Práce na stanici si rozdělily divize 1 a divize 2 firmy Subterra, a. s.

Na druhou stranu stanice Červený vrch dál žije svým životem, tedy pokračováním ražeb vlastní stanice. Pravdou je, že ve velmi komplikovaných geologických poměrech, které nebyly projektem plně predikovány.

DÁLNIČE D 8-805 – LOVOSICE – ŘEHLOVICE

Na posledně dokončovaném úseku dálnice D8 přes České středohoří bylo po tunelu Prackovice již také dokončeno definitivní ostění tunelu Radejčín. V současné době tak mohly navázat práce na betonáži jeho hloubeného úseku, a to ve směru na Ústí nad Labem.

Jistě zajímavou technicko-společenskou událostí pro tento tunel se stane dne 4. 8. 2011 jeho z legislativních důvodů odložená prorážka, která se uskuteční na pražském portále.

TUNELY VMO DOBROVSKÉHO

Betonáže chodníků a nátěry stěn velmi sledovaného brněnského tunelu již byly dokončeny. V současné době probíhají v tunelu další instalační a dokončovací práce. Současně se přistoupilo i k opravám prvních poškozených povrchových ražbou dotčených objektů. Tyto opravy budou postupně pokračovat i v dalších letech, tak jak se konsoliduje nadloží tunelu a tím doznívají vlivy ražby na povrch a jeho zástavbu. Práce provádí firmy Subterra, a. s., a OHL ŽS, a. s.

TUNELY NA ŽELEZNIČNÍ TRATI PRAHA – ČESKÉ BUDĚJOVICE

ÚSEK: VOTICE – BENEŠOV U PRAHY

Současná nejvýznamnější koridorová železniční stavba pokračuje v provádění definitivních obezdívek tunelů a následně i dalších dokončovacích prací.

Na nejdelším Zahradnickém tunelu mimo jiné se provádějí zásypy příportálových hloubených úseků. Na Olbramovickém tunelu se zase dokončují poslední stavební úpravy a nátěry.

Tunel Tomice I je ve znamení dokončování betonáží definitivní obezdívky. Bednicí forma poté přejede na tunel Tomice II. Do takto dokončených tunelů se potom budou montovat instalace, především úchyty pro nosníky trakčního vedení a další nutné technologie.

Všechny tunelářské práce na všech čtyřech tunelech probíhaly zcela standardně a v souladu s harmonogramem prací. V souladu s jeho obsahem se očekává, že v listopadu 2011 budou tunely předány k instalacím kolejových svršků a trakčního vedení.

Práce na všech výše zmíněných ražených tunelech provádí Subterra, a. s.

ŽELEZNIČNÍ TUNEL JABLUNKOV Č. 2

Na havarovaném tunelu Jablunkov byly dokončeny zpevňující injektáže a byly znovu zahájeny ražby. Postupovat se bude s dělením čelby na šest částí (horizontálně na dvě části, vertikálně na tři). Bude se kombinovat výztuž Hebrex, HEB a Bretex v určité analogii podle zkušenosti z ražby tunelu Dobrovského, který, jak se ukázalo, vykazuje určitou podobnost v geologických podmínkách. V době uzávěrky čísla bylo vyraženo 81 m na štole A (levá horní z pohledu ražby)

left-hand and then the right-hand station tunnel (viewed in the direction of the excavation), through which both tunnelling machines with the backups will be pulled to pass the station at the end of 2011. The work on the station was divided between Division 1 and Division 2 of Subterra a. s.

On the other hand, Červený Vrch station continues to live its own life, which means that the excavation of the station itself will continue. The true is that it will be carried out in very complicated geology, which has not been fully predicted by the design.

D8 MOTORWAY – CONSTRUCTION LOT 805: LOVOSICE–ŘEHLOVICE

In the D8 motorway section running across the České Středohoří highland, which is being completed as the last one on the D8 route, the final lining of the Radejčín tunnel has been completed, after completing it in the Prackovice tunnel. Therefore the work on casting of the cut-and-cover section in the direction of Ústí nad Labem could start.

The date of 4th April 2011 will certainly become an outstanding technical and social event for this tunnel. On that day the breakthrough, which was postponed for legislative reasons, will take place at the Prague portal.

DOBROVSKÉHO TUNNELS ON THE LARGE CITY CIRCLE ROAD IN BRNO

Casting of walkways and paint coating of walls of the closely monitored Brno tunnel has been finished. At the moment, other installation finishing operations are in progress in the tunnel. At the same time repairs to first surface buildings which had suffered damage due to the tunnel construction have started. The repairs will continue even in the following years, depending on the process of the consolidation of the tunnel overburden and abating of the effects of the excavation on the surface and surface buildings. The work is carried out by Subterra, a. s., and OHL ŽS, a. s.

TUNNELS ON VOTICE – BENEŠOV U PRAHY SECTION OF PRAQUE – ČESKÉ BUDĚJOVICE RAILWAY LINE

The currently most important railway corridor development project continues by installing the final lining in the tunnels and, subsequently, carrying out other finishing work.

On the Zahradnice tunnel, which is the longest of the tunnels, among other operations, portal sections are being backfilled. On the Olbramovice tunnel, the last construction work items and paint coating are under completion.

The Tomice tunnel is in the phase of completing casting of the final lining. The formwork will be subsequently moved to the Tomice II tunnel. When the tunnels are completed in this way, the equipment installation will follow, first of all brackets for beams carrying the contact line and other necessary equipment.

All tunnelling operations on all four tunnels have proceeded in a standard way, in compliance with the works schedule. It is expected that the scheduled deadline for handing the tunnels over to the contractor installing the trackwork and the catenary system, which is November 2011, will be maintained.

The work on all of the above-mentioned mined tunnels is being carried out by Subterra, a. s.

JABLUNKOV NO.2 RAILWAY TUNNEL

Consolidation grouting has been completed on the collapsed Jablunkov tunnel and the tunnel excavation has resumed. The excavation will proceed with the face divided into six partial headings (horizontally into two parts and vertically into three parts). The support frames will be a combination of Hebrex, HEB and Bretex arches, in a certain analogy to the Dobrovského tunnel, using the experience gained during its excavation, which, as it has

a 30 m na štole B (pravá horní). Práce na štole A probíhají dobře vzhledem k tomu, že je zde minimalizován rozsah rozebírání staré železobetonové výztuže prvotně raženého tunelu. Navíc v době uzávěrky čísla již štola prošla územím závalu a nachází se v prostorách před zálivkou z hubeného betonu, která tvoří ochrannou zátku hotového tunelu z období prvotní ražby. Práce na štole B jdou mnohem pomaleji, vzhledem k tomu, že je nutno rozebírat nejen železobetonovou výztuž z prvotní ražby, ale i kamennou definitivní obezdívku původního tunelu. Práce tak probíhají s postupy asi 0,5 m denně.

TUNEL OSEK V ÚSEKU BEROUN – ZBIROH

Stavební část tohoto hloubeného dvoukolejného tunelu délky 324 m byla již dokončena včetně zásypů, terénních a vegetačních úprav. V tunelu je v současné době s ohledem na stav celého budovaného úseku zprovozněna jedna kolej pro veřejný provoz. Druhá kolej se potom bude pokládat ve 3 kvartálu tak, aby na podzim tohoto roku byly v provozu obě koleje již plně rekonstruované železniční trati.

*ING. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,
METROSTAV, a. s.,*

*ING. KAREL FRAN CZYK, Ph.D., kfranczyk@subterra.cz,
SUBTERRA, a. s.*

SLOVENSKÁ REPUBLIKA TUNEL TURECKÝ VRCH

Jedinou v současnosti běžiacou tunelovou stavbou na Slovensku je železničný tunel Turecký vrch. Dvojkoľajný tunel dĺžky 1775 m je súčasťou modernizovaného úseku Nové Mesto nad Váhom – Zlatovce na železničnej trati Bratislava – Žilina. V letných mesiacoch roku 2011 pokračovala výstavba izolačnými prácami a betonážami sekundárneho ostenia. V septembri 2011 by mali byť ukončené všetky bloky sekundárneho ostenia. Práce v tuneli budú pokračovať betonážou chodníkov a káblových trás ako aj definitívnymi konštrukciami únikovej chodby. Otvorenie železničnej trate vrátane tunela sa očakáva začiatkom roku 2013. Investorm stavby sú Železnice Slovenskej republiky a zhotoviteľom združenie vedené spoločnosťou OHL ŽS, a. s., pričom ďalšími členmi združenia sú Skanska SK a. s., Váhostav - Sk, a. s., Doprastav, a. s. a Eltra, spol. s r. o.

*ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@terraprojekt.sk,
TERRAPROJEKT, a. s.*

turned out, exhibits certain similarity in the geology passed through. As of the closing date of this issue, 81 m of the excavation has been completed at the drift A (left-side, top - viewed in the direction of the excavation) and 30 m at the drift B (right-side, top). The work on the drift A has proceeded well, with respect to the fact that the scope of dismantling of the old reinforced concrete lining of the initially mined tunnel. In addition, before the closing date of this magazine issue, the drift had already passed through the collapse area and is found in the area in front of the lean concrete backfill, forming a plug protecting the tunnel structure completed during the initial tunnelling stage. The work on the drift B proceeds much slower, taking into consideration the fact that, in addition to dismantling the reinforced concrete lining installed during the initial excavation stage, it is necessary to remove the final masonry lining of the original tunnel. Thus the work proceeds at the daily advance rates of about 0.5 m.

OSEK TUNNEL WITHIN THE BEROUN – ZBIROH SECTION

The civil work on this 324 m long, cut-and-cover double-track tunnel has been finished, including backfills, terrain finishes and planting. One track is currently in public service in the tunnel, taking into consideration the state of the tunnel under construction. The other track will be laid during the third quarter, with the aim of having both tracks of the completely reconstructed rail line operable in the autumn of 2011.

*ING. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,
METROSTAV, a. s.,*

*ING. KAREL FRAN CZYK, Ph.D., kfranczyk@subterra.cz,
SUBTERRA, a. s.*

THE SLOVAK REPUBLIC TURECKÝ HILL TUNNEL

The only tunnel currently under construction in the Slovak Republic is the Turecký Vrch railway tunnel. This 1,775 m long, double-track tunnel is part of the Nové Mesto nad Váhom – Zlatovce section being upgraded on the Bratislava – Žilina rail line. During the summer months of 2011, the construction continued by installing the waterproofing system and casting of the final lining. All blocks of the secondary lining should be completed in September 2011. The work inside the tunnel will proceed by casting of walkways and cable ducts, as well as installing final structures in the escape gallery. Train services on the rail line including the tunnel are expected to begin at the beginning of 2013. The project owner is Železnice Slovenskej republiky (Slovak Railways); the contractor is a consortium led by OHL ŽS, a. s., with the other members comprising Skanska SK a. s., Váhostav - Sk, a. s., Doprastav, a. s. and Eltra, spol. s r. o.

*ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@terraprojekt.sk,
TERRAPROJEKT, a. s.*

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

www.ita-aites.cz

VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY OF THE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION

The General Assembly of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association was held in the Břevnov monastery, Prague 6, on Wednesday, the 8th June 2011. It was combined with elections of the

chairman and members of the Board for the electoral term starting in 2012 and ending in 2014. In total, there were 39 delegates from 50 member organisations, 10 individual members and 17 guests present.

In the beginning, Mr. Ivan Hrdina, the chairman of the ITA-AITES CzTA, cordially welcomed precious guests – Mr. Róbert Turanský, the chairman of the ITA-AITES Slovak Tunnelling Association, Mr. Mikuláš Pákh and Mrs. Eva Gránová.

In his opening speech, Mr. Hrdina reminisced the contribution of Mr. Jaroslav Grán to the origination of the CzTA, the establishment of TUNEL journal and winning of and successful organisation of the first World Tunnel Congress held in the Czech Republic in 1985, the ITA WTC 1985. Then, receiving great applause, he handed the CzTA Commemorative Medal awarded to Mr. Jaroslav Grán in memoriam over to Mrs. Gránová.

The results of the election of the ITA-AITES CzTA chairman and members of the Board for the functional period 2012 – 2014:

Chairman of the Association: Ing. Ivan Hrdina (Metrostav a. s.)

Members of the Board:

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague

Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., Satra s. r. o.

doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., D2-Consult Prague s. r. o.

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Faculty of Civil Engineering of the VŠB-TU Ostrava

Ing. Libor Mařík, IKP Consulting Engineers s. r. o.

Ing. Václav Soukup, Metrostav a. s.

Ve středu 8. června 2011 se konalo v Břevnovském klášteře v Praze 6 valné shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES spojené s volbami předsedy a členů jejího předsednictva pro funkční období 2012 až 2014. Celkem bylo přítomno 39 delegátů z 50 členských organizací, 10 jednotlivců a 17 hostů.

Valné shromáždění zahájil předseda CzTA ITA-AITES Ing. Ivan Hrdina, který zvláště srdečně přivítal vzácné hosty – předsedu STA Ing. Róberta Turanského, Ing. Mikuláše Pákha a paní Evu Gránovou se synem a dcerou.

V úvodu jednání Ing. Hrdina připomenul zásluhy Ing. Jaroslava Grána na vzniku CzTA, na založení časopisu Tunel a na získání a úspěšné organizaci prvního světového tunelářského kongresu konaného v ČR ITA WTC 1985. Pak za potlesku všech přítomných předal paní Gránové pamětní medaili CzTA, kterou předsednictvo udělilo Ing. Jaroslavu Gránovi in memoriam.

Následovala zpráva o činnosti CzTA od valného shromáždění konaného dne 26. května 2010, ve které Ing. Hrdina zdůraznil úspěšný rozvoj činnosti asociace především v oblasti vzdělávání (pořádání Tunelářských odpolední a dalších seminářů), v ediční činnosti (vydávání časopisu Tunel a svazků edice



Obr. 1 Předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina předává paní Evě Gránové pamětní medaili, kterou CzTA udělila Ing. Jaroslavu Gránovi in memoriam

Fig. 1 Mr. Ivan Hrdina, chairman of the CzTA, handing the Commemorative Medal which was awarded to Mr. Jaroslav Grán in memoriam over to Mrs. Eva Gránová

Dokumenty CzTA) i velmi úspěšný průběh 11. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2011.

Komentoval také snahu předsednictva o posilování kontaktů se státní správou a zapojení asociace do projednávání legislativy týkající se podzemních staveb. Podařilo se například docílit důležité změny stavebního zákona.

S ministerstvem dopravy byla dohodnuta účast asociace při tvorbě předpisů pro tunely na pozemních komunikacích. Obdobně po souhlasu předsedy ČBU je asociace zapojena do aktualizace vyhlášky 55/96 Sb.

Zprávu o ekonomické situaci, návrhu rozpočtu na rok 2011 a o stavu členské základny (k 1. 1. 2011 bylo členy asociace 50 organizací a 49 jednotlivců) přednesl sekretář asociace Ing. Miloslav Novotný. Dále informoval o aktivitách CzTA na rok 2011. Z hlavních akcí chce asociace uskutečnit čtyři Tunelářská odpoledne, odborný zájezd do Rakouska, pokračovat ve vydávání časopisu Tunel a zahájit přípravu konference Podzemní stavby Praha 2013.

V edici Dokumenty CzTA byl již vydán svazek 4 *Přehled terminologie podzemního stavitelství (výklad a překlad základních pojmů)*. Dále se plánuje vydání dvou svazků – svazek 5 *Rakouská směrnice pro geotechnický návrh konvenčně ražených podzemních staveb* a svazek 6 *Český překlad rakouské normy ÖNORM B 2203-1 Práce v podzemí – smlouva o provedení díla, část 1: Cyklické ražby (konvenční tunelování)*. Ten budou moci členové CzTA získat za úhradu 800 Kč/výtisk.

Účast členů asociace na ITA WGs a činnost pracovních skupin CzTA komentoval Ing. Stanislav Sikora. V rámci CzTA vyvíjejí svou aktivitu pracovní skupiny:

PS pro stříkaný beton – vedoucí skupiny: doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

PS pro konvenční tunelování – vedoucí skupiny: Ing. Václav Soukup (dojde ke změně vedoucího PS)

PS pro navrhování a statiku podzemních staveb – vedoucí skupiny: Ing. Vladislav John

PS pro hydroizolaci tunelů – vedoucí skupiny: Ing. Jiří Svoboda

PS pro mechanizované tunelování – vedoucí pracovní skupiny: Ing. Boris Šebesta

PS odborná výchova – vedoucí skupiny: doc. Dr. Jan Pruška
Vyhlášení výsledků studentské soutěže o nejlepší diplomovou práci za rok 2010 provedla doc. RNDr. Eva Hruběšová (VŠB TU-Ostrava). Vyhodnoceni byli:

1. místo: Ing. Beňo – ČVUT Praha (vedoucí prof. Barták)

Téma diplomové práce: *3D modelování ražby tunelu Blanka pod letenskou zástavbou*

2. místo: Ing. Dostálek – FAST VŠB-TUO Ostrava (vedoucí prof. Aldorf)

Téma diplomové práce: *Velké havárie podzemních staveb – příčiny a poučení*

3. místo: Ing. Rychtecký – VUT Brno (vedoucí doc. Horák)

Téma diplomové práce: *Primární kolektor v Brně*

a

Ing. Kozoušek – ČVUT Praha (vedoucí doc. Pruška)

Téma diplomové práce: *Modelování stanice metra pomocí 3D MKP*

Výsledky voleb předsedy a členů předsednictva pro funkční období 2012 až 2014 (viz níže usnesení z valného shromáždění).

V závěru jednání účastníci valného shromáždění přijali jednomyslně následující usnesení:

Usnesení

z valného shromáždění CzTA, které se konalo 8. června 2011 v Břevnovském klášteře v Praze 6

1. Valné shromáždění schvaluje zprávu předsedy o činnosti asociace v období od minulého valného shromáždění, které se konalo 26. května 2010
 2. Valné shromáždění schvaluje hospodaření asociace za rok 2010 a návrh rozpočtu na rok 2011
- Valné shromáždění vzalo kladně na vědomí hlavní aktivity CzTA v roce 2011:
- ediční záměry CzTA,
 - pořádání tunelářských odpolední, semináře o rakouské legislativě a tematického zájezdu do Rakouska,
 - přípravu mezinárodní konference PS 2013.

Valné shromáždění zvolilo předsedu a členy předsednictva České tunelářské asociace pro funkční období 2012 až 2014 ve složení:

Předseda asociace: Ing. Ivan Hrdina

Členové předsednictva:

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.

Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.

doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.

Ing. Libor Mařík

Ing. Václav Soukup

Po ukončení oficiální části valného shromáždění následovala prezentace pracovníků firmy Eltodo EG, a. s.:

Přehled aktivit výboru PIARC C4 Road Tunnel Operation (prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.)

Aktivity firmy Eltodo EG, a. s., v podzemních stavbách (Ing. Jiří Řehák, technický ředitel Eltodo EG, a. s.)

Valné shromáždění ukončil předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina, který poděkoval přítomným za účast i za důvěru, kterou mu projevili zvolením do funkce předsedy asociace pro následující funkční období.

**ING. MILOSLAV NOVOTNÝ, novotny@metrostav.cz,
sekretář CzTA ITA-ATIES**

NOVÉ TECHNICKÉ PODMÍNKY TP 237 „GEOTECHNICKÝ MONITORING TUNELŮ“

Obecné informace

Dne 1. července 2011 vydalo Ministerstvo dopravy ČR nové technické podmínky TP 237 „*Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací*“, (dále jen TP 237).

Tyto nové TP 237 stanovují závazná pravidla provádění geotechnického monitoringu při přípravě a výstavbě silničních, dálničních a městských tunelů pozemních komunikací.

Navazují na ostatní technické podmínky vydávané Ministerstvem dopravy ČR, zejména na *Technické kvalitativní podmínky pro dokumentaci staveb pozemních komunikací*, jejich kapitoly 1 *Všeobecně*, a jejich kapitoly 7 *Tunely, podzemní objekty a galerie*. Dále na *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*, kapitoly 24 *Tunely* a na TP 154 *Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací*. Navazují na TP-76/C *Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů pozemních komunikací*.

Pro zpracování TP 237 byla přijata definice, podle které je „*Monitoring souhrn činností směřujících k zjišťování aktuálního stavu spolupůsobení systému ostění-hornina v okolí výrubu ovlivněném ražbou a ke sledování vývoje tohoto stavu v čase. Slouží pro návrh opatření k zajišťování stability výrubu, přípustných deformací výrubu i nadloží, k žádoucímu ovlivňování hydrogeologických poměrů, k nepřekračování projektem stanovených kritérií a k ověřování účinnosti k těmto účelům přijímaných opatření.*“

Cílem monitoringu je především prognózování dalšího vývoje chování sledovaného systému na základě posouzení jeho předchozího vývoje a zhodnocení geomechanického modelu horninového prostředí, ve kterém je tunel ražen.“

Zpracovatelé TP 237 dále respektovali tezi, že monitoring je komplexní činnost, na které se kromě zhotovitele monitoringu a investora (správce stavby), podle svých kompetencí ve smyslu stavebního zákona, platných vyhlášek, technických podmínek a uzavřených smluv s objednatelem účastní i ostatní účastníci výstavby. Především projektant stavby, zhotovitel stavby, případně i objednatelem přizvaní nezávislí experti.

Novum proto je, že TP 237 obsahují i ty požadavky na přípravu organizování a řízení monitoringu (včetně způsobů hodnocení dosažených výsledků), které podmiňují dosažení dostatečného přínosu monitoringu pro celkovou ekonomiku, kvalitu

a bezpečnost stavby. Z těchto důvodů TP 237 také definují požadavky na začlenění monitoringu do celkové struktury řízení rizik a řízení celé výstavby tunelu a na součinnost jednotlivých účastníků výstavby při jeho provádění.

Základní východisko přijaté pro vypracování TP 237

Základním východiskem zpracovatelů byla myšlenka, že monitoring je nedílnou součástí výstavby podzemního díla. Monitoring podle nových TP 237 vytváří podmínky pro bezpečnější a zároveň ekonomičtější ražbu při splnění všech technicko kvalitativních podmínek stanovených projektem. Rozšiřuje použití prvků observačních metody, kdy se postup výstavby a realizační dokumentace ražeb upravuje podle skutečného chování systému ostění tuneluhornina.

TP 237 proto vyžadují, aby monitoring byl prováděn tak, aby výsledky monitoringu umožnily úpravu původních předpokladů projektu a aby byly podkladem pro upřesnění vstupních parametrů geotechnických výpočtů v dalším průběhu výstavby.

Monitoring v souladu s TP 237 také umožňuje zpřesňování prognózy dalšího chování horninového masivu a jeho reakce na ražbu podzemního díla případně s předstihem signalizovat stavy, které by mohly vést ke vzniku mimořádných událostí.

Rozsah platnosti nových TP 237

Nově vydané TP 237 platí pro návrh a provádění monitoringu všech tunelů pozemních komunikací a podzemních děl s nimi souvisejících v průběhu výstavby. V přiměřeném rozsahu se vztahují i pro monitoring těchto děl v průběhu jejich provozování. Vztahují se i na monitoring všech objektů ovlivněných ražbou tunelů. Především se jedná o:

- dotčené objekty nadzemní zástavby, inženýrské sítě, komunikace,
- podzemní objekty v dosahu vlivu raženého tunelu,
- portály tunelů, portálové jámy včetně přilehlého okolí,
- podzemní vodu a vodní režim, jakož i dopady změn režimu podzemní vody na objekty v nadloží,
- životní prostředí v dosahu dotčených tunelů.

Konvenčními metodami se rozumí ražba, při které se v definovaném sledu cyklicky opakují jednotlivé činnosti (např. rozpojování horniny, odtěžování, zajišťování stability výrubu atd.), Nová rakouská tunelovací metoda, Adeco-RS, SCL (ražba s ostěním ze stříkaného betonu), metoda obvodového vrubu apod.

Kromě silničních tunelů se nové TP 237 vztahují i na monitoring podzemních děl s výstavbou tunelů souvisejících (vzduchotechnické a technologické podzemní ražené prostory, únikové nebo přístupové štoly, šachty apod.). V přiměřeném rozsahu se vztahují i na monitoring a na sledování chování stavebních jam a portálů tunelů včetně sledování hloubených úseků tunelů.

TP 237 platí i pro průzkumné štoly prováděné v rámci geotechnických průzkumů pro přípravu tunelů, s tím, že se požadavky přiměřeně upravují podle cílů průzkumných prací, podle velikosti profilu průzkumné štoly, technologie ražby a geologických poměrů, ve kterých je průzkumná štola ražena.

Při tunelování plnoprofilovými tunelovacími stroji (TBM a štíty) je nutno obecně požadavky TP 237 upravit podle typu použitého stroje a jeho specifických požadavků na sledování stroje během ražeb a sledování objektů v nadloží.

TP 237 navazují na TP 76-C *Provádění geotechnického průzkumu pro tunely pozemních komunikací*, které byly vydány v lednu 2008.

Monitoring a geotechnický dozor během ražeb tunelů

TP 237 vychází z principu, že geotechnický dozor, průběžné hodnocení míry shody či odlišností mezi předpoklady geotechnického průzkumu se skutečně zastiženými geotechnickými poměry při ražbách, hodnocení zastižených geotechnických typů a navrhování tříd vystrojení výrubu, je nedílnou součástí hodnocení monitoringu.

Je to proto, protože při hodnocení skutečně zastižené geologie je třeba vzít v úvahu i výsledky měření a naopak při hodnocení výsledků měření se nelze obejít bez velmi podrobného profesionálního hodnocení zastižené geologie.

Význam zavedení TP 237 do praxe

Cílem zpracovatelů TP 237 bylo poskytnout investorům, správcům staveb, stavebním dozorcům, projektantům, zhotovitelům podzemního díla, geotechnickým konzultačním firmám a zhotovitelům monitoringů pravidla pro účinné a profesně správné provádění monitoringu.

Zpracovatelé mohli vycházet z poměrně rozsáhlých aktuálních znalostí a zkušeností s dosavadním prováděním monitoringů dálničních, silničních, železničních i městských tunelů, budovaných konvenčními tunelovacími metodami s využitím observačního přístupu v ČR i z doporučení mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES

Monitoring podle požadavků nových TP 237 umožní maximální snížení rozsahu víceprací a vícenákladů i zmenšení nebezpečí prodloužení doby výstavby z důvodů vzniku mimořádných událostí. S tím souvisí i větší bezpečnost prací. Monitoring v pojetí podle TP 237 je rovněž nedílnou součástí řízení rizik v průběhu výstavby tunelů.

Vedlejším, avšak nezanedbatelným přínosem monitoringu je také významný příspěvek k prohloubení obecných znalostí o chování systému podzemní stavební konstrukce–horninový masiv využitelných při každém dalším projektu tunelů.

Autoři doufají, že tohoto cíle se jim alespoň částečně podařilo dosáhnout.

Distribucí nových TP 237 „*Monitoring tunelů pozemních komunikací*“ byla pověřena firma ARCADIS Geotechnika, email: brzobohata@arcadisgt.cz.

Lze si je rovněž stáhnout ve formátu pdf z webové stránky www.arcadisgt.cz a z webové stránky ITA-AITES www.ita-aites.cz.

DOC. ING. ALEXANDR ROZSYPAL,
rozsyपाल@arcadisgt.cz,
ARCADIS GEOTECHNIKA, a. s.

Došlo po uzávěrce / Submitted after the copy deadline

RAŽBY NA TUNELOVÉM KOMPLEXU BLANKA DOKONČENY!

UNDERGROUND EXCAVATION FOR THE BLANKA COMPLEX OF TUNNELS COMPLETED!

A special ceremony was held at the currently largest underground construction project in the Czech Republic, the Blanka Complex of Tunnels, on the 5th September 2011. The last cubic metre of ground was excavated in the Brusnice tunnel section, in the presence of Bohuslav Svoboda, the Lord Mayor of the Capital City Prague, and Karel Březina, his deputy. This moment meant the overall completion of the underground excavation which commenced in July 2007. Nevertheless, the construction operations are far from ending. The installation of the waterproofing, the final lining and tunnel equipment will continue. The current works schedule expects the entire complex to be opened to traffic in March 2014.



Obr. 1 Nakládání posledního kubíku horniny – vlevo pražský primátor MUDr. Bohuslav Svoboda, za ním jeho náměstek Ing. Karel Březina (foto: Ing. Libor Mařík)
Fig. 1 Loading of the last cubic metre of ground – pictured left: MUDr. Bohuslav Svoboda, the Lord Mayor, Ing. Karel Březina, his deputy, behind him (photo courtesy of Libor Mařík)

Dne 5. 9. 2011 v dopoledních hodinách se konala na tunelovém komplexu Blanka slavnostní událost. Za účasti primátora hlavního města Prahy MUDr. Bohuslava Svobody a jeho náměstka Ing. Karla Březiny proběhlo na tunelu Brusnice odtěžení posledního kubíku horniny. Tímto okamžikem byly definitivně ukončeny ražby zahájené v Praze–Troji v červenci 2007. Práce tím však zdaleka nekončí, dále bude pokračovat provádění vodotěsných izolací, definitivních ostění a technologie. Zprovoznění celého komplexu se podle aktuálního harmonogramu stavebních prací předpokládá v březnu 2014.

ING. ALEXANDR BUTOVIČ, Ph.D.,
SATRA, s. r. o.

SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

www.sta-ita-aites.sk

NOVÉ SLOVENSKE PREDPISY NA NAVRHOVANIE CESTNÝCH TUNELOV

Úvod

Stav slovenských technických predpisov na navrhovanie cestných, resp. diaľničných tunelov nebolo možné v období predošlej dekády považovať za úplne uspokojivý. Kým podklady pre navrhovanie stavebnej časti tunelov boli pomerne jasne definované najmä normou STN 73 7507 *Projektovanie cestných tunelov*, na navrhovanie bezpečnostno-prevádzkového vybavenia (technologickéj časti) sa používali rôzne zahraničné predpisy, najčastejšie české TP 98, rakúske RVS, nemecké RABT ako aj švajčiarske ASTRA. Výber predpisu bol na projektantovi, pričom samozrejme podliehal odsúhlaseniu investorom. Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov bola navrhovaná na základe predpisu TP 04/2006. Viaceré z jeho ustanovení spôsobovali problémy pri ich interpretácii zainteresovanými stranami (investor, projektant, orgány požiarnej ochrany), čoho dôsledkom boli mnohomyseľné zdržania pri schvaľovaní projektovej dokumentácie a získavaní stavebných povolení.

V júni 2009 usporiadala Slovenská tunelárska asociácia (STA) odborný seminár venovaný problematike vetrania a bezpečnosti cestných a diaľničných tunelov, na ktorom vystúpili viacerí zahraniční i domáci odborníci. Cieľom seminára bolo okrem výmeny skúseností a zjednotenia odporúčaní pre bezpečnosť cestných a diaľničných tunelov aj nájdenie modelu spolupráce medzi odborníkmi a štátnymi inštitúciami za účelom dopracovania technických predpisov.

Na základe záverov seminára bola vytvorená pracovná skupina zložená zo zástupcov Slovenskej tunelárskej asociácie, Ministerstva vnútra (Prezídia hasičského a záchranného zboru), Ministerstva dopravy, pôšt a telekomunikácií a Národnej diaľničnej spoločnosti. Táto pracovná skupina v priebehu roku 2010 rozbehla prípravu predpisov týkajúcich sa *Protipožiarnej bezpečnosti a vetrania cestných tunelov*.

Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov

Ako už bolo uvedené, odborná verejnosť dlhodobo cítila potrebu revízie znenia technických podmienok TP 04/2006. Na základe objednávky od Národnej diaľničnej spoločnosti STA prevzala záštitu nad spracovaním kompletnej revízie TP. Hlavným spracovateľom revízie bol Ing. Ján Dekánek zo spoločnosti Apolloprojekt, s. r. o., prípravy predpisu sa ako členovia pracovnej skupiny aktívne účastníci Ing. Viktória Chomová (Dopravoprojekt, a. s., neskôr Národná diaľničná spoločnosť), Ing. Štefan Choma (Basler & Hofmann Slovakia, s. r. o.), Mgr. Pavol Komár a JUDr. Emília Tadiáľová (Prezídium hasičského a záchranného zboru), Ing. Petr Schmidt (Národná diaľničná spoločnosť), Ing. Vojtech Tóth (Elhyco, a. s.), Ing. Marián Viazanko (Ministerstvo dopravy) a Ing. Miloš Frankovský zo spoločnosti Terraprojekt. Práce na TP boli ukončené začiatkom roku 2011.

TP sa v svojich ustanoveniach venuje stavebnej i technologickéj časti tunelov, pričom zvláštnu pozornosť venuje koncepcii požiarneho úseku, únikovým cestám, zariadeniam na požiarne zásah ako aj požiarotechnickým zariadeniam a zariadeniam na dodávku vody na hasenie požiarov. Na rozdiel od TP 04/2006 nie sú v predpise ustanovenia týkajúce sa vetrania tunelov a únikových ciest, nakoľko sú tieto predmetom osobitného predpisu. Výraznou zmenou oproti TP 04/2006 je aj zmena kategorizácie tunelov, ktorá sa podľa revidovaného predpisu vzťahuje len na stanovenie požiarnej odolnosti stavebných konštrukcií v tunelovej rúre a nesúvisí už s inými návrhovými parametrami ako je vzdialenosť únikových ciest alebo potreba vody na

hasenie požiaru. Pre zaradenie tunela do jednej z dvoch kategórií je rozhodujúce, či kolaps nosnej konštrukcie môže spôsobiť škody veľkého rozsahu napríklad na budovách alebo líniových stavbách nachádzajúcich sa nad tunelom alebo v jeho bezprostrednej blízkosti.

Vetrание cestných tunelov

Kľúčovým prvkom prevádzkovo-bezpečnostného vybavenia cestných tunelov je spravidla ich vetranie. Vetrание výrazným spôsobom ovplyvňuje stavebné usporiadanie najmä dlhých tunelov a výrazne sa podieľa na stavebných a prevádzkových nákladoch.

V priebehu roku 2010 boli súčasne s TP *Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov* začaté práce na predpise pre vetranie cestných tunelov, zahrňujúce tak prevádzkové ako aj núdzové (požiarne) vetranie. Spracovanie predpisu zadala Národná diaľničná spoločnosť Slovenskej tunelárskej asociácii. Na príprave predpisu sa spolu so zástupcami slovenských orgánov a organizácií podieľali skúsení experti zo zahraničia, Dipl. Ing. Petr Pospíšil zo spoločnosti Gruner AG a dr. Alexander Rudolf zo spoločnosti ILF Consulting Engineers. Autorom finálneho znenia TP *Vetrание cestných tunelov*, ktoré bolo schválené v júni 2011 je napokon dr. Alexander Rudolf. Text TP vychádza z posledných poznatkov v oblasti vetrania tunelov a je možné konštatovať, že v porovnaní s inými podobnými predpismi umožňuje väčšiu flexibilitu pri navrhovaní vetrania pre tunely rôznych dĺžok a dopravných systémov, pri súčasnom plnení minimálnych bezpečnostných požiadaviek na cestné tunely v zmysle znenia Direktívy 2004/54/EC.

Očakáva sa, že oba TP *Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov* a TP *Vetrание cestných tunelov* budú oficiálne publikované v 4. kvartáli roku 2011.

Metodika analýzy rizík

Ešte pred spracovaním TP *Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov* a TP *vetranie cestných tunelov* boli v priebehu roku 2009 začaté práce na spracovaní národnej metodiky analýzy rizík v zmysle Direktívy 2004/54/EC a Nariadenia vlády č. 344/2006 Z. z. o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v cestnej sieti. Na základe výsledkov súťaže organizovanej Národnou diaľničnou spoločnosťou bola na jej spracovanie vybraná spoločnosť Terraprojekt, a. s., ktorá metodiku spracovávala v spolupráci s ILF Consulting Engineers Linz. Základom pre spracovanie slovenskej národnej metodiky sa stala rakúska metodika TuRisMo. Modifikácia TuRisMa na slovenské pomery bola založená na preskúmaní podobnosti návrhových predpisov ako aj porovnaní dostupných údajov o nehodovosti na slovenských a rakúskych diaľniciach. Vzhľadom na zatiaľ štatisticky nedostatočný objem údajov o nehodách v slovenských tuneloch vychádzajú vstupné údaje modelu z analýzy cca 450 nehôd v rakúskych cestných tuneloch. Tunelový rizikový model podľa metodiky bude slúžiť na kvantitatívne určenie rizikových parametrov cestných tunelov dlhších ako 500 m v slovenskej diaľničnej a cestnej sieti. Práce na metodike boli ukončené v prvej polovici roku 2010, následne bola o metodike v zmysle znenia Direktívy 2004/54/EC informovaná Európska komisia. Nakoľko k zneniu metodiky neboli na európskej úrovni vznesené žiadne námietky, vstúpila táto do účinnosti od 1. júna 2011 ako TP 02/2011 *Analýza rizík pre slovenské tunely*.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, frankovsky@terraprojekt.sk,
TERRAPROJEKT, a. s.