

2. Omítky

Omítky či nástřiky jsou další variantou, jak zajistit požární bezpečnost betonových ostění. Avšak aplikace protipožárních omítek přináší některá úskalí. Hlavním problémem je odpadávání omítnutých ploch, zčásti již bezprostředně po nanesení nebo později během užívání. Nejčastějším důvodem těchto poruch je špatná příprava podkladu, který může často nést na svém povrchu stopy přípravků, které zabraňují přilnutí betonu k bedně. Toto riziko lze omezit tím, pokud se omítka nanáší na výztuž ukotvenou k pevnému podkladu – ostění tunelu.

Kromě toho je třeba dbát na to, aby se používaly speciálně modifikované omítky vhodné k požární ochraně, které navíc splňují také speciální požadavky na konstrukci a užívání tunelu. Veškeré požadavky kladené na protipožární omítky splňuje například omítkovina na bázi cemento-vermikulitové – Cafco FENDOLIE® MII. Tyto omítky se uplatňují jak u nových staveb, tak zejména u rekonstrukcí. Výhodou je nanesení omítkoviny na jakýkoli geometricky zakřivený povrch tunelové stavby.

3. Obklad deskami

Obklad požárními deskami chrání beton velmi účinně před působením tepla a emisí. Desky musí být speciálně vhodné pro obklad tunelů a musí mít dostatečnou pevnost v ohybu, aby mohly absorbovat dynamické tahové a tlakové síly způsobené prouděním vzduchu, vyvolaným jízdou dopravních prostředků.

Kromě toho musí být odolné vůči agresivním klimatickým podmínkám, jako jsou výfukové plyny, odštěpková voda a posypová sůl, a z hlediska požáru v tunelech odolné vůči teplotám např. 1350 °C podle tunelové křivky RWS a 1200 °C podle tunelové křivky RABT/ZTV-ING.

Speciálně pro ochranu tunelů byly například vyvinuty požárně ochranné desky PROMATECT®. Při použití požárně ochranných desek PROMATECT® o tloušťce pouhých 25 mm nedochází u tunelové křivky RWS k překročení maximálních teplot ve výšce 380 °C na betonu přímo pod obkladem a maximálních teplot ve výšce 250 °C na ocelové výztuži. Účinně se zamezí odpráskávání betonu a destrukci betonového stavebního dílu. Případná sanace je několikanásobně rychlejší a obejde se většinou vždy bez mokřých procesů.

Do dnešního dne bylo deskami PROMATECT® ochráněno více než 140 významných tunelových objektů po celém světě. V našich podmínkách je znát z řad odborné veřejnosti určitá nedůvěra k tomuto modernímu řešení požární ochrany železobetonových konstrukcí, která pramení zřejmě z našich historických zkušeností s masivními „kamennými“ stavbami, kde kámen, cihla a beton jsou brány jako nenahraditelné.

Požárně ochranný obklad se spojuje mechanicky pomocí šroubů přímo nebo např. prostřednictvím spodní konstrukce s betonovým dílem, a lze jej tedy po požáru velmi snadno vyměnit. U zakřivených průřezů tunelů lze požárně odolné desky PROMATECT® uzpůsobit poloměru tunelu.

Obklad v tunelech pomocí požárně ochranných desek PROMATECT® je bezúdržbový. V případě vnějšího poškození je lze rychle odstranit a vyměnit, při revizích se okamžitě a jednoduše demontují.

Předchozí zkušenosti ukazují, že náklady na protipožární vylepšení tunelů pomocí požárně ochranných desek činí přibližně 3 ‰ celkových stavebních nákladů. Tyto nízké investice znamenají výhodu účinné požární ochrany osob a stavby.

ING. LIBOR FLEISCHER, PROMAT s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

Gottfried Teichmann: Fire Protection Tunnels and Underground Transportation Facilities

Nařízení vlády č. 264 o bezpečnostních požadavcích na tunely pozemních komunikací delších než 500 metrů

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

58. GEOMECHANICKÉ KOLOKVIUM, SALCBURK 58TH GEOMECHANICS COLLOQUY, SALZBURG

The same as every year, this year too, at the beginning of October, Salzburg, Austria, hosted an important, widely attended meeting of tunnellers – the 58th Geomechanical Colloquy. The attendance exceeded 800. The Colloquy was held on Thursday the 8th October and Friday the 9th October 2009. An excursion to the underground railway construction site in Linz followed. Part of the Colloquy was a Technical Exhibition, which attracted many exhibitors.

Jako každý rok, tak i letos začátkem října se v rakouském Salcburku konalo významné a hojně navštěvované setkání tunelářů – 58. Geomechanické



Obr. 1 Odborná výstava pořádaná v rámci kolokvia

Fig. 1 Technical Exhibition organised in the framework of the Colloquy

kolokvium. Počet účastníků přesáhl 800. Kolokvium proběhlo ve čtvrtek 8. 10. 2009 a v pátek 9. 10. 2009 s následující sobotní exkurzí na stavbu podpovrchové tramvaje v Linci. Součástí kolokvia byla také hojně oblesaná technická výstava (obr. 1).

Přednášky byly opět hodnotné a je škoda, že Česká republika má na konferenci téměř tradičně minimální účast. Sborník přednášek tvoří páté (říjnové) číslo časopisu Geomechanics and Tunneling (Geomechanik und Tunnelbau).

Úvod kolokvia patřil dnes již legendě a jednomu z průkopníků NRTM, devadesátiletému profesoru Pacherovi, kterého účastníci srdečně pozdravili potleskem. O své stále skvělé duševní formě je přesvědčil při svém vystoupení.

Na začátku čtvrtého odpoledního jednání pořadatelé umožnili, aby vystoupil Ing. Libor Mařík, člen předsednictva CzTA ITA-AITES, který pozval přítomné na 11. mezinárodní konferenci Podzemní stavby Praha 2010 (obr. 2).

Jednání kolokvia bylo rozděleno do čtyř sekcí, jejichž témata byla:

- Injektování ve skalních horninách
- Rakouské tunelové projekty
- Hluboké tunely
- Využití rubaniny z ražby tunelů

Z čistě tunelářské tematiky je možno v první sekci zdůraznit příspěvek o navržených opatřeních pro zlepšení vlastností horninového masivu pro ražbu dvoukolejného železničního tunelu Irlahüll na nové vysokorychlostní trati z Norimberku do Ingolstadtu, kde tunel prochází vápenci a dolomity s krasovými jevy. Přítomnost krasových jevů různých typů komplikovala výstavbu a znemožňovala vytvoření nosného prstence v okolí výrubu. Pro realizaci příslušných doprovodných opatření byly z hlediska možné sanace krasové jevy rozděleny do 4 typů: 1 – volný prostor, 2 – částečně vyplněný volný prostor (napadené bloky horniny), 3 – zcela vyplněný volný prostor, 4 – zvětřalá podcřená hornina nebo uložení kusů horniny o velikosti kamenů až bloků. Každému typu odpovídal i stanovený postup sanace a výplň cementovou suspenzí, maltou nebo betonem. Konečná volba způsobu sanace byla

stanovena až na základě vyhodnocení prováděných injektážních vrtů, aby nedocházelo k nevhodným unikům směsi do volných prostor krasu. Během přednášky byla často zdůrazňována nutná přítomnost expertů na injektáže přímo na stavbě a operativní rozhodování na základě skutečně zastižených podmínek.

Další příspěvky pojednávají o injektážích tlakových vodních přivaděčů, o zkušenostech z řízení injektáží v reálném čase, o komplexní problematice injektáží doma i v zahraničí z pohledu dodavatele nebo o těsnících injektážích šachty, která leží ve Skotsku na břehu moře a souvisí s ukládáním radioaktivního odpadu.

Pokud hovoříme o injektování hornin, nelze nezmínit mimořádně zajímavý příspěvek o projektování a realizaci velmi rozsáhlých injektážních prací při vytváření těsnící clony na přehradě Ermenek v jižním Turecku, které provádí rakousko-turecké konsorcium. Klenbová přehrada výšky 220 m se staví ve strmě zařiznutém údolí ve vápenci s krasovými jevy. Podloží vápence tvoří flyš, který se ale nachází asi 230 m pod základovou spárou přehrady. Injektovat se muselo nejen podloží hráze, ale i horninový masiv vápenců do velké vzdálenosti na obě strany od osy hráze. Spodní úroveň injektáží musela vždy dosáhnout rozhraní vápenců a flyše. Realizace injektážních prací úzce souvisí s oblastí podzemních staveb, neboť pro utěsnění horninového masivu na výšku 470 m byly ve 4 úrovních navrženy štoly v vertikálním odstupem cca 70 m. Ze štol byly prováděny těsnící vrty s roztečí 1,5 m, které se při realizaci podle místních podmínek ještě zahušťovaly. Při ražbě obchozího tunelu hydroelektřárny došlo na základě nově zjištěných geotechnických skutečností k optimalizaci původního řešení, které vedlo ke zkrácení injektážních štol z 9590 m na 7752 m a v souvislosti s tím k úspoře investičních nákladů. Článek podrobně popisuje kromě geotechnických podmínek zejména cenné zkušenosti z realizace, složení injektážních směsí, výsledky ze zkoušek těsnosti a poskytuje mnoho dalších informací.

První příspěvek **druhé sekce** popisoval bezpečnostně-hygienická opatření při ražbě dvoutroubového tunelu Kirchdorf (2700 m) na rychlostní komunikaci S35 u města Kirchdorf na úseku Zlatten–Mautstatt. Jižní část tunelu v délce asi 500 m prochází serpentínitěm, který ve velké míře obsahuje zdraví nebezpečná asbestová vlákna. Tato skutečnost byla pro všechny účastníky výstavby novinkou, se kterou nebyly dosud žádné zkušenosti. Ražba tunelu ve zdraví škodlivým prostředím si vyžádala řadu opatření, ať se jednalo o zkrácení horniny po odstřelu pomocí zařízení používaných na výrobu umělého sněhu (sněžných děl), nasazení sacího systému větrání za použití filtrů na separaci azbestových vláken, mytí všech zařízení, která opouštěla „černou zónu“, až po používání speciálních masek při práci v této zóně. Vyloučena byla i současná ražba na dvou pracovištích (kalota a opěří). Na portále byly instalovány mlhové clony, které oddělovaly oblast tunelu od okolního „čistého“ prostředí.

Ražba tunelu bentonitovým štítem při nízkém nadloží byla předmětem příspěvku o stavbě železničního tunelu Jenbach v údolí Innu. Tunel je součástí transevropské osy TEN1 spojující Berlín s Palermem. Jedná se o dvokolejný železniční tunel délky 3470 m o průměru 13 m a ploše výrubu 133 m², který přivádí trať k Brenner Basis tunelu. Ražba tunelu probíhala od října 2007 do května 2009. Krátce po zahájení prací tunel podcházela pod dálnici, což si vyžádalo nasazení zvláštních opatření. Přímě nad hlavou štítu byl vyloučen provoz dálnice a soustava digitálních snímačů informovala osádku štítu každých 15 vteřin o deformacích na povrchu. Díky tomu se podařilo omezit sedání povrchu na 2 mm. Při výstavbě se objevily i dva inovativní prvky. V prvním případě se jednalo o osazení speciálních tybinků s úpravou pro využití geotermální energie pro vytápění objektů v nadloží. Druhý případ se zabýval pokusným použitím stlačitelné výplňové malty, která se používá pro aktivaci ostění. V úsecích tunelu, kde deformace nadloží nehrály tak významnou roli a ražba probíhala ve stabilním horninovém masivu, došlo k experimentu se stlačitelnou maltou, jejíž objem se dá redukovat až na 50 %, aniž by došlo ke ztrátě pevnosti. Tato vlastnost hraje významnou roli při dimenzování prefabrikovaného ostění, kdy podle zásad NRTM aplikovaných při ražbě TBM dochází k částečné deformaci horninového masivu, aniž by se díky řízené deformaci výplně zvyšovalo zatížení ostění.

Další příspěvek se týkal potíží při ražbě druhé tunelové trouby tunelu Pfaender na obchvatu města Bregenz. Při ražbě první tunelové trouby docházelo k značnému zdvihání dna způsobeného vysokým obsahem montmorillonitu v jílovcích, které za přítomnosti technologické vody bobtnaly. Snahou investora při výběrovém řízení proto bylo umožnit nasazení takové tunelovací metody, která by aktivaci bobtnání omezila na minimum, a soutěž byla vyposána jak pro cyklickou, tak kontinuální ražbu. Ražba tunelu probíhala pomocí TBM o profilu 11,92 m firmy Herrenknecht, který již absolvoval ražbu dvou 3,5 km dlouhých tunelů v obdobných geologických podmínkách ve Francii. Pro omezení kontaktu bobtnavé horniny s vodou se ostění ve dně aktivovalo tixotropní maltou, v horní části výrubu zafoukáváním kačírkem frakce 8/11 mm. Bobtnavé prostředí však nebylo pro stavbu jediným úskalím. Při ražbě v nesoudržných materiálech se nepodařilo hlavu štítu přes všechna opatření udržet v požadovaném směru a sklonu a při poloze řežné hlavy 55 cm,



Obr. 2 Prezentace konference PS Praha 2010

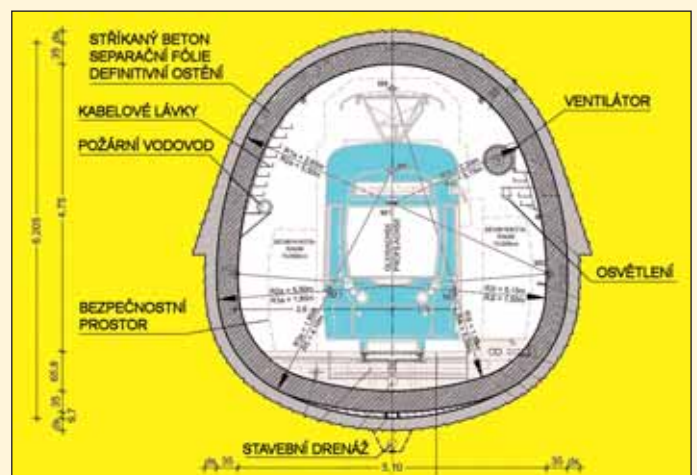
Fig. 2 Presentation of the conference Underground Constructions Prague 2010

resp. konce těla štítu 33 cm pod projektovanou úroveň došlo k zastavení ražby. Muselo následovat obejít štítu, vyrazení komory konvenční metodou a zvednutí štítu do projektované nivelety. V dalším textu autoři velmi podrobně a s řadou technických detailů popisují zmaňání problému s nadzvedáváním štítu a obnovením ražby.

Další dva příspěvky pojednávají o ražbě dvou úseků železničního tunelu Lainzer (celková délka 12,8 km) v obtížných podmínkách pod městskou zástavbou ve Vídni s důrazem na omezení sedání na povrchu území. Ražba dvokolejného tratěvého tunelu dosahuje plochy výrubu 115 m² až 130 m² a probíhá pomocí NRTM, v prvním případě s vertikálním členěním výrubu. Právě požadavek na minimalizaci deformací povrchu omezovalo odstup kaloty a opěří podle typu prostředí na 60 m až max. 120 m, přičemž k uzavírání spodní klenby primárního ostění docházelo 10 m až max. 30 m za ražbou opěří. Druhý článek popisuje detailně nejen postup výstavby s vertikálním členěním výrubu, ale i realizaci vodonepropustného definitivního ostění se zvýšenými požadavky na požární odolnost. Články popisují i výstavbu únikových šachet a štol, sledování hladiny hluku a vibrací při staveništní dopravě, sledování deformací v podzemí i na povrchu, ale i logistické problémy spojené s dopravou materiálu, což je problematika úzce spjatá s ražbou městských tunelů.

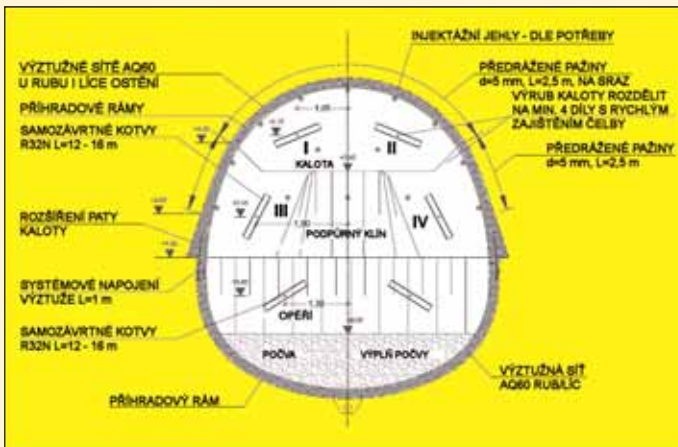
Poslední příspěvek v této sekci se zabýval ražbou tunelů pro tramvaj pod kolejíštěm hlavního nádraží v Linci s názvem Harter Plateau. Této významné stavbě byla věnována i sobotní exkurze.

V sekci **Hluboké tunely (třetí sekce)** se většina příspěvků věnovala problematice velkých deformací v souvislosti s funkcí primárního ostění, kotvení nebo použitím různých typů deformačních elementů vsazovaných do primárního ostění. Autoři Radončič, Schubert a Moritz ve svém článku kromě pracovních diagramů různých typů deformačních elementů podrobně popisují i metodiku návrhu poddajného primárního ostění s využitím deformačních elementů. Další příspěvky popisovaly ražbu v tlačivých horninách pomocí otevřeného TBM na Gotthardském bazovém tunelu při vzniku a řešení nadměrných deformací v oblasti L1 štítu, nebo koncepci průchodu tlačivými horninami na tunelu Koralm. Jeden z příspěvků hodnotil geotechnické výzvy vyplývající



Obr. 3 Vzorový příčný řez jednokolejného tunelu v Linci

Fig. 3 Typical cross-section of a single-track tunnel in Linz



Obr. 4 Primární ostění a zajištění stability výrubu
Fig. 4 Primary lining and excavation support

s průzkumů prováděných pro uvažovaný železniční tunel pod gibraltarskou úžinou.

Poslední čtvrtá sekce uvedla příklady logistiky (nakládání s rubaninou) a využití rubaniny na stavbách různých tunelů (15 let zkušeností s touto problematikou na gothardském bázovém tunelu; koncepce využití rubaniny na tunelu Koralm nebo na bázovém železničním tunelu na trase Lyon – Turín). U dlouhých bázových tunelů hraje otázka ekonomického a ekologického využití rubaniny významnou roli a skutečnost, že této problematice byla věnována čtvrtina celé konference, význam jen potvrzuje.

I když páteční odpolední program geomechanické kolokvium oficiálně ukončil, následující den se ještě konala neodmyslitelná odborná exkurze, tentokrát do nedalekého Lince na stavbu podzemní tramvaje. Prodloužení trasy linky 3 navazuje na doposud konečnou stanici Hlavní nádraží a míří poprvé za hranici města Lince do sousedního městečka Leonding na tak zvané Harter Plateau. Součástí trasy v celkové délce 5,3 km je kromě 9 nových stanic i tunelářsky velmi náročný úsek délky 950 m, který je ražen pomocí NRTM s nadloží 4 až 12 m pod kolejištěm hlavního nádraží. Dva jednokolejné traťové tunely s plochou výrubu 35 m² (obr. 3) procházejí v přípořtálových úsecích v délce cca 150 m kvarterními sedimenty a kvůli sklonu 40 promile se snaží rychle dostat do níže uložených jílovitých oligocenních sedimentů. V dalších 500 m trasy dosahuje výška nadloží 14 m, ale mocnost jílu nad vrcholem kaloty nepřekračuje 4 m. Směrem k hlavnímu nádraží trasa opět stoupá, nadloží ubývá a posledních 30 m se celý profil tunelu nachází opět v kvarterních nesoudržných sedimentech s minimálním nadložím.

Geotechnickým podmínkám odpovídají zvláštní opatření při ražbě. Při ražbě v terasových kvarterních sedimentech se používá snížení hladiny spodní vody pod úroveň počvy tunelů, zpevňující injektáže, předrážení ocelových



Obr. 6 Stísněné poměry zařízení staveniště
Fig. 6 Constricted site area



Obr. 5 Pohled na čelbu a uzavírání počvy
Fig. 5 View of the heading and closing of the invert

pažin a především co nejrychlejší uzavírání profilu primárního ostění. Ražba probíhá s horizontálním členěním výrubu na kalotu, opěří a počvu, pro zajištění stability čelby se používají 12 m až 16 m dlouhé samozávrtné kotvy, nástřik betonu se sítí a podpurný klín zpevněný opět nástřikem betonu. K omezení sedání přispívá i rozšíření paty kaloty (obr. 4). Primární ostění tl. 200 mm je vyztuženo dvěma vrstvami sítí. Vzhledem k nestabilnímu prostředí je kalota rozdělena na 4 až 5 dílčích výrubů, které jsou po otevření co nejrychleji zajištěny stříkaným betonem se sítí. Uzavírání spodní klenby probíhá do 5 záběru od čelby kaloty. Délka záběru v kalotě se pohybuje od 1 m do 1,3 m, v opěří je dvojnásobná.

V době exkurze probíhalo právě osazování sítí v počvě tunelu (obr. 5) a ve druhém tunelu zastríkávaní boků výrubu v úseku s maximálním nadložím. Při výkladu účastníkům exkurze byly práce na krátkou dobu přerušeny, a tak se vzdych alespoň na okamžik trochu vyčistil a bylo možné udělat několik fotografií. Kvůli krátkým záběrům a členění kaloty na dílčí výrubu se pro nástřik ostění používá suchá směs, což velmi zvyšuje prašnost prostředí. Zásadní roli v daných podmínkách hraje rychlost provádění jednotlivých technologických kroků. Proto je samozřejmostí situování betonárky přímo na portále ve stavebním jámě hloubeného úseku tunelů. Městské prostředí omezuje stavbu prostoro- vě i časově. Ve stavební jámě se kromě betonárky nachází i úpravná pH vody na bázi CO₂, sklad vyztužných rámců nebo mezideponie rubaniny (obr. 6). Její odvoz je s ohledem na noční klid možný jen ve dne. Poučné bylo i zjištění, že definitivní ostění tunelů tl. 350 mm je navrhováno z betonu odolného proti průsakům bez použití hydroizolační fólie. Mezi primárním a definitivním ostěním je instalována pouze separační fólie. Po ukončení čerpání ve třech polích dočasných studní situovaných podél trasy tunelů voda nastoupá opět do původní výšky a tunelové ostění zatíží hydrostatickým tlakem.

Pokud cílem exkurze bylo ukázat ražbu tunelů v extrémních podmínkách městské zástavby s minimální výškou nadloží, složitými geotechnickými podmínkami a velmi přísnými kritérii na sedání povrchu při průchodu pod kolejištěm hlavního nádraží v Linci, pak byl tento cíl beze zbytku naplněn.

Příští, již 59. Geomechanické kolokvium se v Salcburku koná 7. až 8. října 2010. Bude se věnovat následkům kolísání hladiny podzemní vody, vzájemným působením hominového masivu a stroje při ražbě pomocí TBM, ražbě v bobtnavých horninách a využitím geotermální energie. Abstrakty příspěvků mají být zaslány do 31. ledna 2010 a on-line formulář bude uveřejněn na webových stránkách Rakouské geotechnické společnosti www.oegg.at.

ING. MILOSLAV NOVOTNÝ, ita-aites@metrostav.cz,
ING. LIBOR MARÍK, libor.marik@ikpce.com

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Časopis Geomechanics and Tunnelling 5/2009, Ernst & Sohn, Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
- [2] Strassenbahnlinie Harter Plateau, Linz Hbf. bis Welngartshof km 0,00 – km 5,30, Planungsgemeinschaft Strassenbahnlinie Harter Plateau Schmietta Consult/IL-Laabmayr & Partner/BHM Ingenieure – část realizační dokumentace