

KRÁLOVOPOLSKÉ TUNELY V BRNĚ TUNNELS IN KRÁLOVO POLE, BRNO

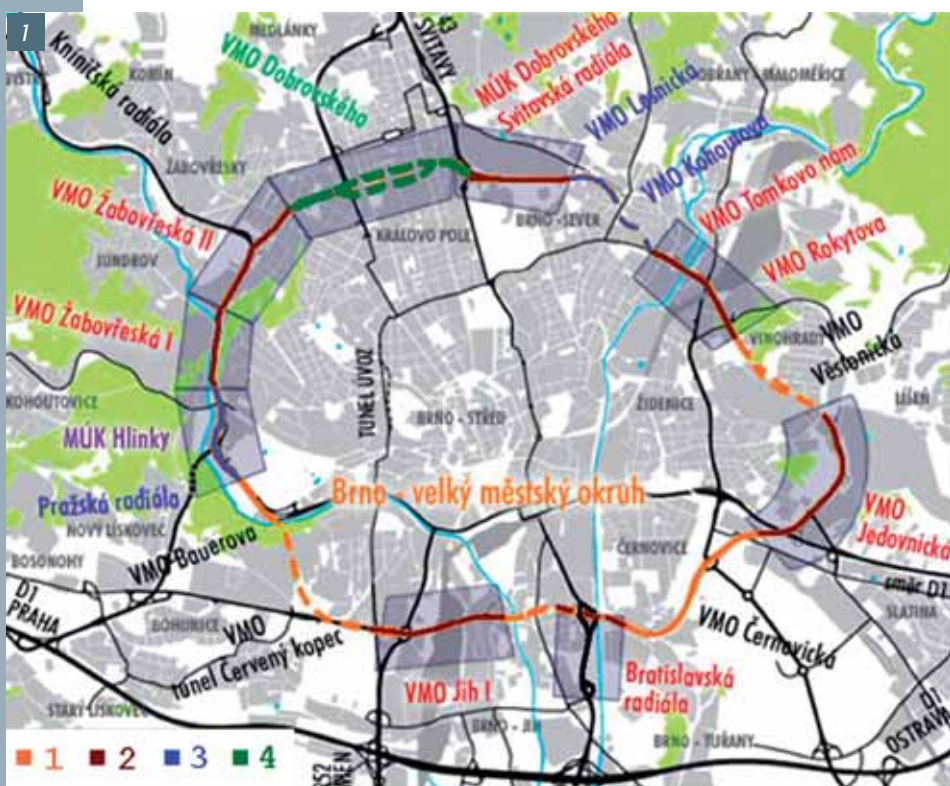
JOSEF BAČA

Příspěvek se zabývá významným dopravně-inženýrským dílem v městě Brně. Na Velkém městském okruhu (VMO) vzniká kapacitní komunikace, která je pod ulicí Dobrovského svedena do tunelu. Dvě tunelové trouby jsou vedeny 5 až 20 m pod povrchem, který je zastavěn městskou zástavbou. To si vyžádalo zvláštní opatření pro stabilizaci primární-

ho ostění pomocí kotev a tryskové injekce. Primární ostění je z vyztuženého stříkaného betonu. Sekundární ostění bude železobetonové a práce na něm se v čase vydání příspěvku právě zahajují.

This paper introduces a major transport engineering work in the town of Brno. A busy road, which is led into the tunnel below Dobrovského Street, is now being built in the Large city ring. Two tunnel

tubes are laid 5 to 20 m below the surface built up by the town development. It required a special measure for stabilization of the primary lining using anchors and jet grouting. The lining is made from reinforced sprayed concrete. The secondary lining will be made from reinforced concrete and the work on it is just beginning at the time of publishing of this article.



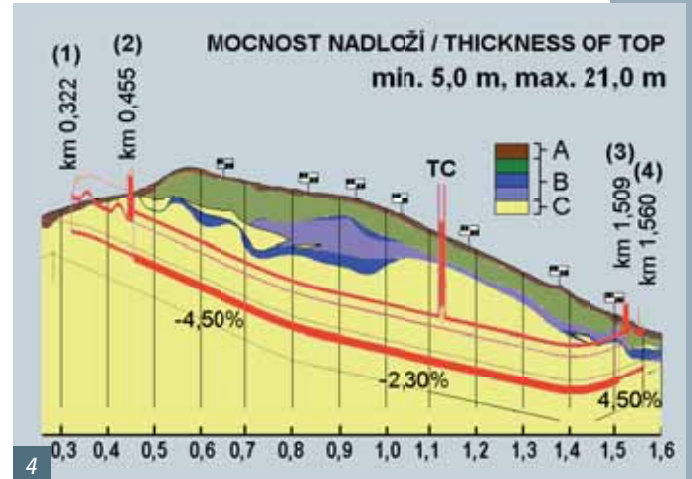
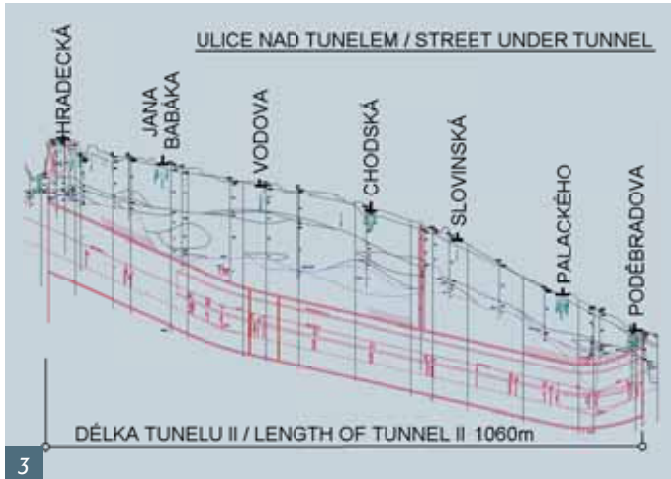
Od roku 2007 probíhá výstavba jižní tunelové rouby (Tunel II) Královopolského tunelu, který tvoří jeden z ražených úseků podzemních objektů stavby Silnice I/42 Brno, VMO Dobrovského B.

Silnice I/42 Brno, VMO Dobrovského B a zejména jeho tunelové objekty se po svém dokončení stanou významným prvkem rozsáhlého komplexu staveb Velkého městského okruhu Brno (VMO Brno) (obr. 1).

Umístění provizorních portálů – západní „Žabovřesky“ a východní „Královo Pole“ – i ze situace (obr. 2) patrná trasa ražených úseků obou tunelů pod městskou zástavbou přináší nebyvalé nároky na zhotovitele. K „běžným“ požadavkům na omezení hluku, prašnosti a čistoty komunikací se přidávají i ohrožení zástavby spojená s poklesovou kotlinou, která při výšce nadloží cca 5 až 20 m zasahuje zejména nadzemní objekty nad či v těsné blízkosti trasy tunelů. Zcela neočekávaným omezujícím faktorem se ukázaly hluk a seismické otřesy vznikající při bourání dočasných betonových konstrukcí, které se šíří hromadnou do základů budov. Změna technologie bourání betonových konstrukcí a zejména efektivní komunikace zástupců investora, TDI i vedení Sdružení s obyvateli a zástupci státní správy přináší oboustranně přijatelná řešení.

TUNEL II

Ražená část tunelu II (TII) je ohraničena začátkem staničení v km 0,452 T2 (provizorní portál Žabovřesky) a končí v km 1,512 T2 (provizorní portál Královo Pole). Tunel II je dvoupruhový a převádí jednosměrnou dopravu z městské části Žabovřesky do směru Brno–Královo Pole. Celková délka ražené části tunelu II je 1 060 m. Standardní profil raženého tunelu (cca 130 m²)



je doplněn o výklenky pro skříň SOS, rozvodné skříň, požární výklenky a nouzový záliv (cca 147 m²; rozšíření 1,5 m; délka 50 bm). Součástí stavby je vzduchotechnická šachta (VZT) a jáma napojující tunel II na technologické centrum II.

Směrové vedení

Osa tunelu se na začátku tunelu odpojí od osy tunelu I (TI) dvěma protisměrnými oblouky, po přímé asi ve třetině tunelu je vložen pravostranný oblouk. Následuje přímá část k poslednímu úseku tunelu, kde se osa opět dvěma protisměrnými oblouky vrací k ose TI. Největší osová vzdálenost obou tunelů je cca 90 m. Tunely TI a TII jsou propojeny čtyřmi technologickými spojkami (třemi přímo, jedna vede do TC I), které jsou navrženy jako průchozí pro pěší.

Výškové řešení

Osa tunelu II od žabovřeského portálu klesá ve sklonu 4,5 %, v km 0,763 se nachází vrchol výškového oblouku, niveleta pokračuje v klesání 2,3 % a údolnicovým obloukem s vrcholem v km 1,432 přechází do stoupání 4,5 % až k portálu Královo Pole. Vrchol údolnicového oblouku je nejnižším místem tunelu a je zde situována jak dočasná, tak trvalá čerpací jámka pro odvodnění tunelu (obr. 3 a 4)

Inženýrsko-geologické a hydrogeologické poměry

Aniž bych chtěl snižovat důležitost vrchních vrstev nadloží (antropogenní sedimenty, spraše a sprašové hlíny a kvartérní fluvialní hlíny), jsou pro ražení tunelů rozhodující polohy **hlinitých štěrků a písků** (zahliněné nesoudržné zeminy s proměnným obsahem štěrkových zm, ulehle a pod hladinou podzemní vody zvodnělé – tvoří

Obr. 1 Mapa VMO Brno

Fig. 1 Map of the Large city ring in Brno

Obr. 2 Situace tunelů v městské zástavbě

Fig. 2 Situation of tunnels in the town development

Obr. 3 Podélný profil

Fig. 3 Longitudinal section

Obr. 4 Geologický profil

Fig. 4 Geological section

Obr. 5 Vertikální členění výrubu – celková plocha cca 130 m²

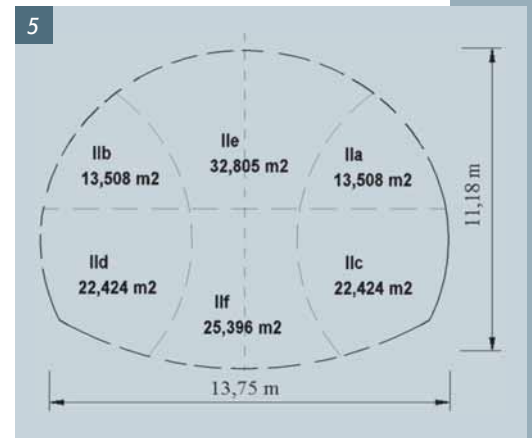
Fig. 5 Vertical articulation of the worked-out space – the total area cca 130 m²

vodní kolektor, tvoří však souvislé vrstvy, jsou vyvinuty v proměnných mocnostech v izolovaných ostrovech; zvrstvení je chaotické, na krátké vzdálenosti se mocnost skokovitě mění z několika decimetrů na několik metrů) a zejména **neogenních jílu**. Neogenní jílly jsou charakterizovány jako jemnozrnné zeminy s velmi vysokou plasticitou, mají většinou tuhou konzistenci, která ve větších hloubkách přechází do konzistence pevné a v prostoru tunelu jsou překonsolidované.

Podzemní voda se vyskytuje jak v kvartérním souvrství – zejména v nesoudržných zemích, tak i v masivu neogenních jílu, který lze považovat jen za relativně nepropustný. Hladina podzemní vody není obecně souvislá, a to ani v kvartérním souvrství. Jedinou oblastí, v níž lze vymežit hydrogeologický režim podzemní vody se spojitou hladinou, je oblast fluvialních sedimentů v oblasti královopolského portálu a ulice Veleslavínovy a Dobrovského (obr. 4).

Koncepce stavebně technického řešení raženého tunelu

Konstrukce ostění raženého tunelu je



dvouplášťová s mezilehlou uzavřenou tlakovou hydroizolací ze svařované folie PVC (3 mm se signální vrstvou). Sestává z primárního pláště – primárního nosného ostění a sekundárního pláště – sekundárního trvale nosného ostění.

Stavba tunelu probíhá observační metodou s horizontálně i vertikálně členěným výrubem. Jde o metodu, jejíž nedílnou součástí je monitoring a v případě potřeby operativní reakce na projevy deformací úpravou kroku ražby nebo způsobu výstroje. Ražba tunelu navazuje na již realizovanou ražbu průzkumných štol IIA a IIB (z let 2002 až 2003).

Samotný výrub tunelu je členěn vertikálně a horizontálně na šest dílčích výrubů. Pro ražbu je vytyčován a prováděn výrub teoretický, zvětšený o 60 mm po celém obvodu horní klenby a o 40 mm na obvodu spodní klenby na konvergence a očekávané deformace. Technologicky nutný nadvýrub je uvažován 100 mm vně teoretického obrysu výrubu. Následně platí zásada, že pro vzájemnou vzdálenost dílčích čeleb tunelu v libovolné kombinaci platí, že nesmí být k sobě půdorysně blíže než 6 m v kterékoliv fázi ražby (obr. 5).

Lícové krytí profilů tuhé výztuže (HEB, HBX) stříkaným betonem (SB) po obvodu výrubu je navrženo konstantní 80 mm, v dočasných vnitřních žebrech je lícové krytí pásnice HBX rovněž konstantní o hodnotě 40 mm při dodržení tloušťky SB 350 mm na trvalém primáru a 300 mm na později bouraném vnitřním ostění štoly. Samozřejmostí je osazování rubové i lícové vrstvy KARI sítí (napojení mezi dílčími výrubu pomocí vylamovacích profilů).

Příruby rámu tuhé výztuže pro následné připojování dalších dílců v dalším kroku ražby (ražba navazujícího dílčího výrubu) jsou chráněny z obou stran v místech šroubů způsobem zaručujícím použitelnost přírub pro napojení dalších částí oblouků tuhé výztuže. Základní osová vzdálenost tuhé výztuže je 1 m (v nouzovém zálivu 0,75 m).

Významným prvkem stavebně technického řešení jsou mikropilotové (MKP) ochranné deštníky. MKP deštníky zajišťují samotné portály (délka 25 m) a dále jsou budované ve značné délce trasy tunelu z čelby kaloty. Jeden vějíř MKP v podzemí sestává z devatenácti kusů mikropilot délky 17 m. Projektem uvažované jsou čtyři úseky (v oblasti královopolského portálu dvacet čtyři vějířů; v oblasti technolo-

gického centra deset vějířů; v oblasti „Telefónika“ dvanáct vějířů a v oblasti žabovřeského portálu čtyři vějíře), tj. tedy téměř 40 % trasy tunelu. Jednotlivé MKP vějíře jsou zhotovované v kroku 8 m.

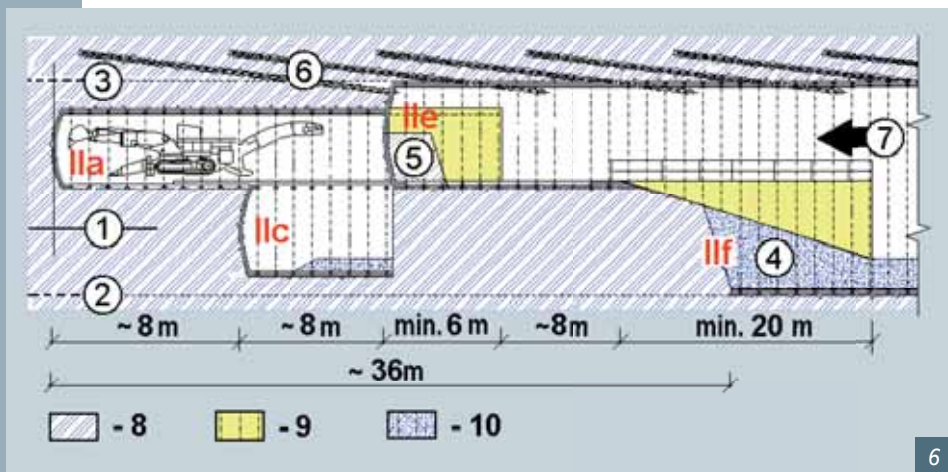
Z důvodu vedení trasy tunelu pod městskou zástavbou a v kombinaci s geologickou a hydrogeologickou situací (zejména úsek úvodních cca 80 m při portálu Královo Pole, kde se nepravidelně vyskytují lokální přítoky do 0,2 l/s) jsou projektem navržena i **Zvláštní opatření pro stabilizaci primárního ostění**. Těmito opatřeními jsou **horizontální členění čelby kaloty, zkrácení kroku ražby** (rozestupu rámu tuhé výztuže na min. vzdálenost 0,75 m, menší vzdálenost ocelových rámu není reálná z hlediska jejich zastíkávání betonem a nutného spolupůsobení), **kotvení** (radiální kotvení počvy výrubu samozávrtnými kotvami TITAN 30/16 mm délky 8 m s injektovaným kořenem délky 6 m), **zkrácení délky uzavření profilu** (vzdálenost čelbového rámu v kalotě a v opěři), **zpevňující a trysková injektáž** (zejména šterkové polohy v profilu kaloty v počátečním úseku ražby), **hutněný zásyp spodní klenby, zesílení ostění** (je nutné počítat i s případným přehodnocením sekundárního ostění) a **zesílení ostění vlože-**

ním bretexů mezi rámy tuhé výztuže. Rozhodnutí provádět či neprovádět tato opatření jsou přijímána zhotovitelem a správcem stavby (doporučení Rady monitoringu stavby) v rámci observační metody ražení tunelů.

RAŽENÍ A PRIMÁRNÍ OBEZDÍVKA TUNELU

Základním omezením při rozhodování o organizaci výstavby, nasazení a počtu pracovníků, strojního vybavení a samotné technologii výstavby byla a je koncepce horizontálně a vertikálně děleného výrubu tunelu, resp. daného rozestupu jednotlivých dílčích čelb v kombinaci s krokem MKP vějíře 8 m. Dalším omezením organizace výstavby (zejména pro sekundární obezdívku) je přístup pouze z portálu Královo Pole (portál Žabovřesky bude uvolněn jen pro realizaci krátké zarážky v délce 8 m – návaznost na výstavbu hloubeného úseku tunelu), koncepce tunelových spojek jako neprůjezdných a umístění VZT šachty cca 400 m od portálu. Zde je na místě pro orientaci připomenout, že ražení probíhá z portálu Královo Pole, tedy ze st. km 1,512 proti smyslu staničení.

Hlavní myšlenkou je organizace výstavby na třech dílčích čelbách. Tyto tři aktiv-



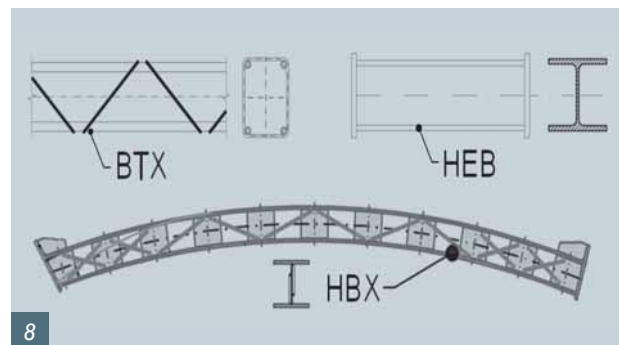
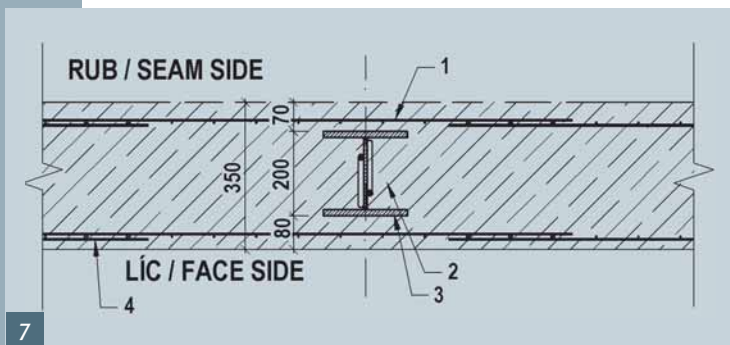
Obr. 6 Schéma postupu ražení
Fig. 6 Scheme of the driving

Obr. 7 Skladba primárního ostění
Fig. 7 Composition of the primary lining

Obr. 8 Výztužné prvky
Fig. 8 Reinforcement elements

Obr. 9 Celkový pohled
Fig. 9 General view

Obr. 10 Pohled na provizorní portál
Fig. 10 View of the temporary portal



ní čelby (b, c, e – a, d, f) se vždy v technologickém kroku (8 až 12 m) střídají v časovém cyklu tří dnů, tzn. že během šesti dnů postoupí o technologický krok všechny dílčí čelby. Neaktivní čelby (c, d, e, f) jsou zajištěny proti vyjetí horniny stříkaným betonem, při delší odstavce pak včetně kari sítě nebo i kotvením po 6 až 8 m laminátovými kotvami (obr. 6).

Obecný pracovní cyklus (1 bm) sestává z rozpojování zeminy tunelbagrem (délka otevření cca 1,5 m od posledního rámu výztuže), dočištění výrubu, stabilizační nástřik čelby i obvodu výrubu prefabrikovanou směsí betonu (cca 40 mm), montáž rubové sítě, montáž tuhé výztuže, nástřik stříkaného betonu mokrou cestou po líčové pásnice výztuže, montáž líčové sítě a nástřik krycí vrstvy betonu cca 40 mm. Zbývající 40 mm betonu se nanáší až jako reprofilační vrstva pod mezilehlou izolaci. Na čelbách c-f platí, že je nutné propojit rámovou výztuž (napojovací patky) i betonářské sítě (dle projektu vylamování profily nebo překrytí). Každá aktivní čelba je obsazena v základní sestavě pěti pracovníky.

Hledání „optimální“ strojní sestavy rovněž vycházelo z prostorového uspořádání a velikosti jednotlivých dílčích štol a zejména nároku na bourací práce (více



než 16 tis. m³ železobetonu). Optimální uvádím v uvozovkách, protože se spíše jedná o kompromis mezi velikostí a výkonem zejména tunelbagrů. Vedle běžných strojů používaných na jiných tunelových stavbách (pracovní plošiny, stroje na stříkání betonu, traktorbagry, malé nakladače, nákladní automobily) bych chtěl uvést

tunelbagr Liebherr R 900 (pracovní výška vyhovuje čelbám c, d) v úpravě s rotací výložníku 360° pro lepší kopírování teoretického výrubu, dále pak stroje pro práci v prostoru průzkumných štol, např. bagr Takeuchi TB 153 s natočitelnou hlavou (bourání obezdívky štol a dočištění výrubu). Ve stísněném prostoru průzkumných



štol se osvědčil manipulátor pro stříkání betonu Mayco ORUGA. Pro bourání vnitřních betonových žeber je zejména využíván tunelbagr Terex T210 osazen bouracími nůžkami (1 700 kg).

Jak je uvedeno, ražení tunelu navazuje na průzkumné štoly IIA a IIB (délky 831 m), které tvoří dílčí čelby Ila, IIb výrubu tunelu (zbývající cca 230 m bude doráženo). Při realizaci se ukázalo a ukazuje, že technologické vyřešení postupu zesilování či plného nahrazování ostění průzkumných štol je omezujičím faktorem v rychlosti postupu celého tunelu. Rovněž přesnost montáže počvového prvku tuhé výztuže (HEB 240) předurčuje postupnou dokompletaci celého prstence tuhé výztuže, tedy směrové a výškové vedení celého díla. Původní koncepce počítala se zesilováním stávající obezdívky průzkumných štol (tuhá výztuž, 100 mm stříkaného betonu, jedna vrstva kari sítě) vložením rámu HEB (počva dílec HEB 240, boky HEB 140). V případě prostorové kolize rámu tuhé výztuže s obezdívkou průzkumných štol bylo potřeba obezdívku částečně odstranit (zářez). Do původní obezdívky průzkumných štol byly osazovány kotevní trny pro dokonalejší spolupůsobení s nově nanášenou vrstvou stříkaného betonu vyztuženou kari sítí (obr. 7 a 8).

Shrnutí postupu výstavby

Práce na zesilování obezdívky průzkumných štol byly zahájeny v polovině září a ukončeny začátkem prosince 2007. Podle původní koncepce zadávací dokumentace byl takto zesílen úsek 101 bm v obou štolách IIA a IIB. V tomto období byla z důvodu zvýšených přítoků vody (zejména z průzkumné štoly IIA) postupně v úseku st. cca km 1,512 až 1,450 v obou štolách prováděna chemická těsnící a zpevňující injektáž. Zpevňující injektáž byla vedena do prostoru budoucí kaloty tunelu a měla zejména zpevnit nesoudržné šterkové polohy [1].

Rok 2007 byl i rokem horečných diskuzí nad koncepcí ražení a zhotovování primárního ostění celého výrubu tunelu. I z tohoto důvodu byly práce na zesilování průzkumných štol zastaveny. Nakonec byla všemi účastníky výstavby přijata koncepce plného nahrazení ostění bývalých průzkumných štol a optimalizace geometrického tvaru výrubu (výztuže) celého tunelu (prohloubení protiklenby, zvětšení výrubu tunelu z důvodu zvět-

šení prostoru pro očekávané konvergenční deformace). Další důležitou změnou, která byla přijata všemi účastníky výstavby, bylo nahrazení prvků tuhé výztuže HEB (mimo počvové prvky HEB 240) prvky s pracovním názvem HEBREX 200 (HBX). Tyto svařence s prolamovanou stojinou byly akceptovány z důvodu lepšího kontaktu (prostříkání stojiny) se stříkaným betonem.

Za datum zahájení ražby tunelu II lze tak považovat i datum 14. ledna 2008, kdy byl realizován první záběr na čelbě II. Postupně byly otvírány (v souladu s požadavky na odstupy jednotlivých čelb) další dílčí čelby tunelu II a uzavření prvních metrů celého tunelu – čelbou f – bylo uskutečněno 1. března 2008.

V tomto období bylo rozhodnuto i o preventivním zesílení primárního ostění v úseku st. 1,405-1,352 (úsek pod ulicí Palackého) vložením bretxových rámu mezi rámy HBX. Dalším významným omezením rychlosti postupu tunelu byly příprava a zahájení realizace kompenzační injektáže (KI) pod objekty v ulici Palackého a Pešanova (cca st. km 1,360-1,190). Připravenost KI byla plánována na červen 2008, a proto bylo tempo výstavby tunelu koordinováno tak, aby řídicí čelba e – kalota k tomuto datu dospěla do st. cca km 1,350. Připomínám, že až do staničení km 1,313 byly v kalotě vrtány vějíře MKP v kroku 8 m (obr. 9).

S postupem čelb c-f a s ohledem na dodržení rozestupu byl další postup na čelbách a, b zahájen v dubnu 2008 (od st. km 1,411). Ostění stávajících průzkumných štol je v celém rozsahu odstraněno a nahrazeno ostěním „standardním“ (350 mm SB, HEB 240, HBX 200, 2 vrstvy kari sítě) v nové geometrii výrubu. Z důvodů omezení hluku a seismických projevů na povrchovou zástavbu je ostění průzkumných štol příčně řezáno po 0,5 m diamantovými pilami. Předřezávání ostění je organizováno v době, kdy je čelba neaktivní na délku technologického kroku (cca 12 m).

Poslední významnou změnou, kterou si opět vyžádal požadavek na omezení hluku a seismických projevů na povrchovou zástavbu bylo nahrazení tuhé výztuže HBX vnitřního bouraného žebra čelby a, b bretxovým prvkem (cca od st. km 1,350).

Všechny změny v koncepci výstavby tunelu kladly a kladou vysoké nároky

na flexibilitu a vysoce profesionální přístup realizačních týmů zhotovitele. Důkazem, že projektový tým i kolektiv dělnických profesí zhotovitele se s tímto dosud beze zbytku vyrovnává, je kvalita realizovaných prací a omezení všech negativních projevů výstavby tunelu na povrchovou zástavbu pod projektem očekávané hodnoty. Za to patří poděkování i všem obchodním partnerům podílejících se na realizaci výstavby tunelu II.

ZÁVĚR

Dá se říci, že rok 2007 byl hledáním koncepce výstavby tunelu. O roku 2008 se dá hovořit jako o roku, kdy tato koncepce byla přenesena do projekční podoby a s úspěchem realizována (do konce roku 2008 bylo vyraženo cca 400 bm). Rok 2009 přinese nutnost organizačně skloubit realizaci ražení a primárního ostění tunelu se zahájením vestavby sekundárního ostění. Rok 2010 bude rokem dokončení primárních i sekundárních konstrukcí tunelu II (prosinec 2010).

Ke konci srpna 2009 bylo vyraženo a plně uzavřeno 750 m tunelu II a zabetonováno 200 bm sekundárního ostění protiklenby. Betonáž protiklenby probíhá bez přerušování ražení s využitím přejezdového mostu. Betonáž sekundárního ostění kleneb tunelu a mezistropu byla zahájena v září resp. říjnu 2009 (obr. 10).

Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR, Správa Brno
Generální projektant	IS VMO Dobrovského
Projektant	Amberg Engineering Brno, a. s.
Zhotovitel	Sdružení VMO Dobrovského B
Účastníci Sdružení	OHL ŽS, a. s., Metrostav, a. s., Subterra, a. s., Divize 1

Literatura:

- [1] Využití chemických injektáží pro ražbu tunelu Dobrovského, Tunel č. 3/2008

Ing. Josef Bača

Subterra, a. s.

Elišky Přemyslovny 380, 156 00 Praha 5

tel.: 602 227 391

e-mail: jbača@subterra.cz

www.subterra.cz