

KRÁLOVOPOLSKÝ TUNEL – ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Historie projektu

Nárůst dopravy v Brně v 90. letech XX. stol. si vynutil doplnění dopravního systému pozemních komunikací na radiálně okružní s omezováním dopravy uvnitř dvou městských okruhů. Vnitřní okruh obtáčí historické centrum a vjezd dovnitř je výrazně omezen. Vnější městský okruh – tzv. Velký městský okruh (VMO) bude převádět dopravu mezi městskými čtvrtěmi a spojoval komunikace na příjezdech do Brna. Není určen pro tranzitní dopravu. Trasa VMO prochází v tomto úseku sídlištěm Žabovřesky a hustou zástavbou Králova Pole. Vedení VMO hustě obydlenou částí města vyvolává logicky zvýšené nároky na ochranu proti hluku, emisím a prašnosti. V 70. a 80. letech byly zpracovány studie trasy VMO přes Královo Pole a Žabovřesky. Šlo o povrchové varianty s rozsáhlými demolicemi a celkovou reurbanizací Králova Pole, nadzemní estakádu a také tunelovou variantu.

V r. 1993 byl zpracován projekt na hloubený dvoupruhový tunel s obousměrným provozem. Hloubený tunel neřešil dobudování druhé tunelové roury pro zvýšenou intenzitu. Druhý tunel byl navržen jen ideově jako ražený s podzemní křižovatkou, bez technicko-ekonomického rozboru. Jeden hloubený tunel předpokládala rozsáhlé demolice a obtížně řešitelné problémy během výstavby. Jeho výstavba byla navržena pomocí podzemních (milánských) stěn, zastropení v relativně mělké stavební jámě a dokončení tunelu pod ochranou stropní desky. Na tuto variantu bylo v r. 1994 vydáno platné územní rozhodnutí.

V r. 1996 navrhla firma Amberg Engineering Brno a. s. ražený tunel, minimalizující demolice a dopady stavby do území. Původně se uvažovalo s etapovou výstavbou. Nejprve měl být vyražen jeden obousměrný tunel a po vyčerpání jeho dopravní kapacity měl být dostavěn druhý tunel pro definitivní jednosměrný provoz v každém tunelu. Nakonec byla zvolena kompromisní varianta s možností napojení Žabovřesk i Králova Pole na velkém rondelu na ul. Hradecké se sjízdnou rampou z ulice Korejské. Tunely jsou dlouhé 1 258 m, resp. 1 237 m. Západní portál leží těsně pod terénním vrcholem, což vypadá nelogicky, ale je to daň za připojení městských komunikací na VMO. V souvislosti s tím byla přeprojektována i navazující křižovatka ulic Hradecké a Královopolské na dvouúrovňovou. V horní etáži se nachází VMO a v dolní městská všesměrná křižovatka, včetně možnosti pohybu chodců.

Druhý tunel byl ve stupni DÚR doprojektován až v r. 2001 a řeší zároveň bezpečnost provozu v původně obousměrném prvním tunelu.

Geologie

Geologie území je pro tuto část Brna charakteristická. Místy je povrch kryt vrstvami antropogenními. Významné jsou mohutné návěje pleistocenních spraší a sprašových hlín. Porůznu se vyskytují přemístěné zeminy charakteru prachovitých a jílovitých hlín s příměsí písku. Bylo zjištěno několik úrovní částečně či zcela zvodnělých zahliněných štěrků reliktvů vyšších teras řeky Ponávky. Podloží, a z pohledu výstavby tunelů rozhodující souvrství, je budováno miocenními brněnskými jíly (tzv. tégly), převážně pevné (místy tuhé až pevné) konzistence. Jíly dosahují mocnosti až 150 m (ověřeno geofyzikálními měřeními). Ani vrty hluboké 80 m skalní podloží nezastihly. Podzemní voda je vázána chaoticky na relikty teras. V tak složitých geotechnických poměrech podzemní stavba takovýchto parametrů nebyla dosud v České republice realizována.

Technické řešení tunelu

Nejdůležitějším prvkem projektu byl návrh ražby s minimálními účinky na povrch a nadzemní zástavbu. Matematickým modelováním byly posuzovány tři varianty ražby v jílech. Byly také zohledněny zkušenosti z ražeb primárních kolektorů v Brně, městského tunelu Mrázovka v Praze a zkušenosti ze zahraničí. Zvolený způsob ražby a vyztužení výrubu s členěním na šest dílčích výrubů s příčnou výztuhou (tvořící současně pracovní plochu pro horní výrubu) není používán příliš často pro časovou a materiálovou náročnost a pro nutnost provádět práce v malých prostorách s nasazením malé a méně výkonné mechanizace. Je však bezpečnou a osvědčenou cyklickou metodou, zajišťující dostatečnou stabilitu dílčích čeleb a relativně malé poklesy terénu.

Kontinuální ražba pomocí zeminového (EPB) nebo i bentonitového (SPB) štítu, používaná ve světě v obdobných podmínkách, byla vyloučena již v prvních projektových úvahách. Délky ražených úseků (2 x cca 1 000 m) nejsou pro nasazení štítu ekonomické. Ražba a s ní související logistika je přípustná pouze ve směru z Králova Pole do Žabovřesk. Stavební jáma v Žabovřeskách pro demontáž štítu, jeho následný přesun zpět do Králova Pole a zřízení druhé demontážní jámy pro následně vyražený druhý tunel v časovém odstupu cca 1 rok by způsobilo neúměrné zdržení velkého souboru stavebních prací v oblasti Žabovřesk. Současné nasazení dvou štítů by bylo ekonomicky již zcela neúnosné.

Primární ostění bylo navrženo podle následujících zásad:

- Brněnské jíly (tégly) jsou velmi plastické a chovají se jako viskózní kapalina.
- Vestavba primárního ostění bude provedena co nejrychleji po uvolnění výrubu a každý vyražený dílčí profil musí být co nejrychleji a co nejužším způsobem uzavřen. Nelze čekat na odlehčení po výrubu, tak, jak je to běžné u skalních hornin.
- Deformace a změny napětí probíhají v jílech s výrazným zpožděním a dlouhodobě. Proto musí být ostění co nejužší, ale na druhé straně s dlouhou deformační dráhou a s možností plastických deformací. Dimenzovat primární ostění na plný horninový tlak v oblasti jen pružných deformací je nereálné. Navržená primární obezdívka byla kompromisem mezi přípustnými deformacemi v podzemí i na povrchu a technickými možnostmi ražby.
- Velmi důležitou úlohu hraje v primárním ostění málo používaná horizontální tuhá výztuha uvnitř bočních štol i mezi nimi. Brání horizontálním deformacím a vytváří podlahu pro činnost strojních prostředků.

Průzkumné práce

Pro projekt tunelu v náročných podmínkách (ražba v jílech, nízké nadloží, hustá povrchová zástavba) byl proveden velmi rozsáhlý a podrobný průzkum, jehož součástí byly tři průzkumné štoly. Hlavním cílem bylo ověřit metodu ražby dílčích profilů a zejména účinky ražby na povrchovou zástavbu. Pro stavební jámu v Králově Poli musely být zbourány desítky domů, bylo proto rozhodnuto provést provizorní portál, stavební jámu a ražbu štol jako součást stavby již obou „definitivních“ tunelů. Průzkumné štoly byly raženy jako horní boční budoucího tunelu (dílčí sekce „a“, „b“) se záměrem je při následné ražbě tunelu dovytuzit. V letech 2001 až 2003 bylo vyraženo přes 2 km průzkumných štol. Předpokladem bylo kontinuální navázání výstavby tunelu. Zahájení ražby tunelu se však zpozdilo až do začátku roku 2008. Průzkumné štoly měly i významný netechnický, efekt. Geotechnický průzkum nepodléhá stavebnímu řízení (pouze ohlášení) a proto bylo možné v rámci průzkumu provést cca 20% výrubů a kompletní startovací jámu bez problémů, provázejících každé stavební řízení pro

realizaci dopravních staveb. Průběh stavebního řízení očekávané problémy a průtahy jen potvrdil. To se výrazně promítlo do opoždění celé stavby.

Správní řízení a průběh projektu

Územní rozhodnutí bylo pro stavbu jedné obousměrné tunelové trouby vydáno již v roce 1994. Následovalo nové územní rozhodnutí z roku 2002 pro řešení se dvěma tunelovými troubami. Při zpracování a projednání projektové dokumentace pro stavební povolení (roky 2002 až 2004) byly zpracovány připomínky a požadavky orgánů státní správy i občanských sdružení. Stavba byla rozšířena o galerie na předportáli v Žabovřeskách a o opatření pro snížení negativních účinků stavby. Stavební povolení bylo vydáno v r. 2005 a po odvoláních nabylo právní moci na podzim r. 2007. Rozhodnutí však bylo napadeno u Městského soudu v Praze, ten v říjnu 2010 stavební povolení zrušil a předal věc zpět na Ministerstvo dopravy. Tím byla z cca 80% dokončená stavba zastavena. Právoplatnost stavebního povolení se podařilo obnovit až na jaře r. 2011. Následné žaloby ze strany Občanského sdružení VMO Brno byly anulovány dohodou až na podzim r. 2011.

Zkušenosti a poznatky z ražby Královopolského tunelu

- Nejdůležitější roli hraje čas a technologická kázeň! Bylo nutné kontinuálně a rychle razit. Pomocná opatření (jehly, mikropilotové deštníky, kotvení čelby etc.) na jedné straně zmenšují deformace, ale na druhé straně zpomalují postup. To deformace kontraproduktivně zvětšuje. Zvolený kompromis se správnou mírou rizika a pomocnými opatřeními při ražbě byl založen na zpětném vyhodnocení měřených konvergencí. Deformace nastartované otevřením profilu tunelu jsou dlouhodobé a množnosti ovlivnění jsou jen malé.
- Dílčí výrubu musí být při ražbě velkého průřezu v jílech ihned uzavírány. Zkrácení rozestupu mezi první a poslední dílčí čelbou celého výrubu je přínosem.
- Kotvení bylo v jílech minimálně účinné a s velmi krátkodobým efektem.
- Deformace na povrchu území probíhaly dlouhodobě – až 18 měsíců. Přitom 90% deformací proběhlo relativně velmi rychle v období do dvou až tří měsíců po otevření čelby.

Negativní účinky ražby

Prognóza z r. 2004 (matematický model vyladěný na skutečně naměřené poklesy od ražeb průzkumných štol) udávala max. poklesy v ose tunelů 70 až 120 mm. Maximální naměřený pokles terénu, resp. budov v ose tunelu od ražby tunelu v místech s nejnižším nadložím jen cca 5 až 6 m (ul. Poděbradova) byl 38 mm, resp. na přilehlé budově 43 mm. Připočítáním extrémních 58 mm od ražby průzkumných štol, činí naměřený extrém 101 mm. Ve zbývajících metrážích tunelů se maximální poklesy od ražby tunelu pohybovaly mezi 50 mm a 70 mm. Připočtením poklesů od štol (30 až 45 mm) získáme prakticky obdobných 80 až 100 mm. Nižší byly poklesy v úsecích, kde nebyly raženy průzkumné štoly. Zde činily 70 až 90 mm. Náklony objektů výjimečně překročily hodnotu 1:450. Běžně se pohybovaly od 1:600 a méně. Celková poklesová situace byla velmi pozitivně ovlivněna i rozsáhlým nasazením kompenzačních opatření (kompenzační injektáž, ochranné clony ze sloupců tryskové injektáže, vyztužení objektů).

Katastrofické vize oponentů navrženého způsobu výstavby tunelů se nenaplnily. Žádný objekt nemusel být kvůli poškození od ražby tunelů vystěhován nebo výrazně omezen v provozu. Během ražby došlo ke dvěma haváriím vodovodu. Jedna nebyla způsobena ražbou, nýbrž havarijním stavem potrubí a druhá byla na 70 let starém litinovém potrubí. Kanalizace (před ražbou v havarijním nebo předhavarijním stavu fungovala po celou

dobu výstavby bez zásadních problémů. Havárie na plynovodních řádech nebyla zaznamenána, zjištěny byly jen drobné úniky plynu na domovních rozvodech způsobené špatným technickým stavem prastarých rozvodů. Na kabelových sítích včetně energokanálu nebyly zaznamenány žádné škody omezující jejich provoz.

Vybavení tunelu a legislativa

Od prvních stupňů projektů až po realizaci zde došlo k největším změnám. Jde především o novou ČSN 73 7507/2006, nové Technické podmínky TP98 (novela vyšla těsně po schválení dokumentace pro stavební povolení v r. 2004) a Evropskou směrnici 2004/54/ES, která byla přijata parlamentem ČR v r. 2006. V neposlední řadě jde i o „Nařízení vlády“ č. 264/2009, kterým se zavádí tato evropská směrnice do praxe v ČR a Královopolský tunel by musel být podle ní vybaven nejpozději do roku 2014. Dokončený tunel je vybaven v souladu se všemi výše uvedenými novými předpisy. Dalším fenoménem výrazně ovlivňujícím stavbu nejen Královopolského tunelu, ale dopravních staveb obecně, jsou hygienické předpisy a zejména hlukové limity v městském prostředí, a to nejen pro období kdy je stavba již v provozu, ale i během výstavby.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O KRÁLOVOPOLSKÉM TUNELU A ZAJÍMAVÁ ČÍSLA (TI = tunel I, TII = tunel II)

• Délka tunelových trub	TI – 1 239 m	TII – 1 258 m
• Z toho ražené úseky	TI – 1 053,21 m	TII – 1 059,97 m
• Tunelové propojky	4 v celkové délce 261 m (max 79 m)	
• Počet hlásek/skříní SOS	TI – 2/8	TII – 2/11
	+ 1 hláska SOS v technologickém centru (TC)	
• Počet hydrantů	24 v tunelech + 2 venkovní před portály	
• Šachty v chodnicích	TI – 115 ks	TII – 121 ks
• Výrubová plocha tunelových trub	standardní profil	130 m ²
	profil zálivu	159 m ²
	tunelová propojka	20 m ² až 22 m ²

Ražba tunelů v čase

• Tunel I	zahájení ražby 03. 2008	ukončení ražby 03. 2010
• Tunel II	zahájení ražby 01. 2008	ukončení ražby 03. 2010
• Rychlost ražeb v plném profilu průměrně 39 m/měsíc		maximálně 60 m/měsíc

Plochy a objemy

• Dopravní prostor	58 m ²
• Prostor pro odsávání nad mezistropem	11 m ²
• Vytěžená hornina z ražených tunelů a propojek celkem	345 000 m ³
• Vytěžená hornina ze stavebních jam přesypaných tunelů	55 000 m ³
• Zpětný zásyp tunelových objektů a souvisící terénní úpravy	67 000 m ³

Větrání v tunelech

- Podélné s odsáváním kouře klapkami v mezistropu à 80 m
- Centrální strojovna se čtyřmi axiálními ventilátory à 150 m³s⁻¹

- Centrální výdechový objekt – dva komíny výšky 25 m nad terénem
- Maximální kapacita odsávání z dopravního prostoru obou tunelů $265 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
- Čtyři čtveřice proudových ventilátorů (vždy jedna čtveřice v portálovém úseku každé tunelové trouby)
- Vzduchotechnika navržena na provoz se zamezením výnosu znečištěného vzduchu z portálů

Elektrická zařízení v tunelu

- Instalovaný příkon 1,7 MW
- Maximální soudobý odběr energie cca 1,2 MW
- Délka uložených kabelů v tunelu cca 240 km

Technické a jiné zajímavosti

- Minimální nadloží tunelu činilo u provizorních portálů cca 6 m. Minimální rozdíl mezi obrysem výrubu a podlahou sklepa objektu Poděbradova 28 činí jen 2,80 m.
- Překládaná kanalizační stoka na ulici Veleslavínově leží v dolní části ulice prakticky na tunelové klenbě primárního ostění.
- Při ražbě byla poprvé v ČR použita tuhá svařovaná výztuž stříkaného betonu.
- Při ražbě byla pro eliminaci poklesů použita v nebyvale velkém rozsahu kompenzační injektáž. Celkem bylo řízenou injektáží během ražby přizvedáváno 26 nadzemních objektů.
- Stavba tunelu si vyžádala dvě lidské oběti při dopravních nehodách během ražby.