

TUNELY DOBROVSKÉHO I A II, SILNICE I/42 VMO BRNO

THE DOBROVSKÉHO I AND II TUNNELS, THE LCRR BRNO, I/42 ROAD SECTION

VLASTIMIL HORÁK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Jihomoravský kraj – město Brno
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR, město Brno
Projektant	AMBERG Engineering Brno, a. s.
Uživatel	Brněnské komunikace, a. s.
Období výstavby	2006–2012
Objem stavebních prací	
	ražené objekty 265 574 m ³ (vyrubaný prostor)
	hloubené objekty 84 340 m ³ (obestavěný prostor)

ÚVOD

Severní část velkého městského okruhu v Brně (dále jen VMO), která je v současnosti připravována k výstavbě, je umístěna na území městských čtvrtí Královo Pole a Žabovřesky. Je pro ni používáno stručné označení VMO Dobrovského podle názvu ulice, v jejíž ose bude komunikace procházet. Hlavním prvkem této části VMO jsou dva autobusy ražených tunelů. Před oběma portály tunelů na komunikaci VMO navazují dvě významné radiální komunikace ve směru od Svitav, které jsou připojeny přes mimoúrovňové křižovatky.

Tunel I – délka celkem 1 239,87 m. Z toho ražená část dl. 1 053,42 m a hloubené části budované v otevřených pažených jámách dl. 133,66 m v Žabovřeskách a 52,79 m v Králově Poli.

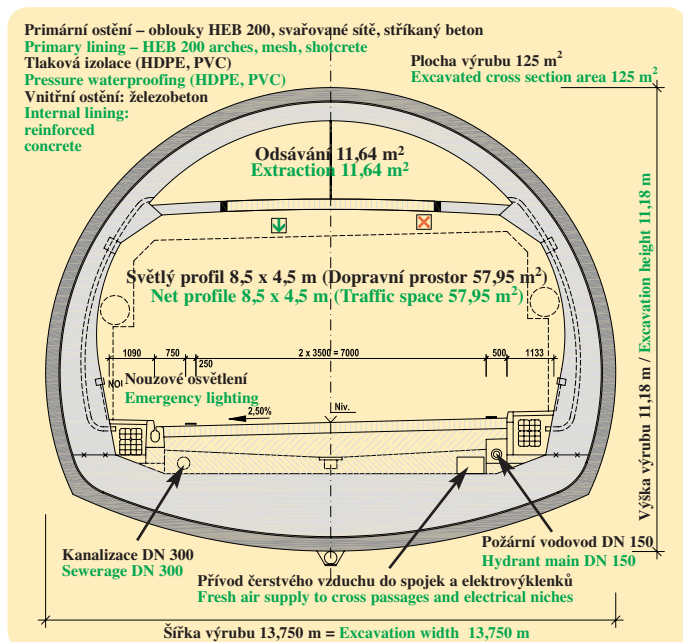
Tunel II délka celkem 1 261,25 m. Z toho ražená část dl. 1 059,97 m a hloubené části budované stejnou technologií jako u tunelu I, dl. 148,61 m v Žabovřeskách a 52,67 m v Králově Poli.

Na straně Žabovřesky je úsek VMO doplněn ještě dvěma galeriemi délky téměř 300 m pro snížení hlukové zátěže okolních domů.

SMĚROVÉ A VÝŠKOVÉ VEDENÍ

Z hlediska směrového řešení je tunel I prakticky v přímé a kopíruje osu povrchové komunikace – ul. Dobrovského. Tunel II, vedený paralelně v odsunutí jižně cca o 70 m, je naproti tomu navržen s několika protisměrnými oblouky. Důvodem je snaha vyhnout se negativním vlivům na problematickou povrchovou zástavbu – 12 podlažní panelový dům, budovy TELECOMU, bazény koupaliště “Dobrák” apod.

Výškové řešení obou tunelů je podřízeno technologii ražby v daném prostředí brněnských téglů, nutnosti navázání na předportálové úseky v Králově Poli bez kolize s důležitými páteřními kanalizačními stokami – zatrubněný



Obr. 1 Vzorový příčný řez

Fig. 1 Typical cross section

BASIC DATA

Region	the South Moravian region – the City of Brno
Employer	the Directorate of Roads and Highways of the CR
Designer	AMBERG Engineering Brno a.s.
User	Brněnské komunikace a.s.
Construction period	2006 - 2012
Works volume	
	mined structures 265,574m ³ (excavated volume)
	cut and cover structures 84,340m ³ (walled-in space)

INTRODUCTION

The northern part of the Large City Ring Road (LCRR), which is currently being prepared for construction, is located in the area of the Královo Pole and Žabovřesky districts. It is briefly named the LCRR Dobrovského, after the street that the road will pass under, following its centre line. The principal element of this LCRR part is a twin-tube tunnel. Two major radial roads join the LCRR in front of both portals in the direction from Svitavy, via grade-separated intersections.

The overall length of the tunnel I is of 1,239.87m. Out of that, the mined section length amounts to 1,053.42m; the cut-and-cover sections constructed in open pits in Žabovřesky and Královo Pole are 133.66m and 52.79m long respectively.

The tunnel II is 1,261.25m long. Out of that, the mined section length amounts to 1,059.97m and the cut-and-cover sections, also constructed in open pits in Žabovřesky and Královo Pole, are 148.61m and 52.67m long respectively. The LCRR section on the Žabovřesky side is further complemented by two nearly 300m long galleries reducing the noise load on the buildings around.

HORIZONTAL AND VERTICAL ALIGNMENT

The horizontal alignment of the Tunnel I is virtually straight. It copies the centre line of Dobrovského Street on the surface. In contrast, the Tunnel II, which is led parallel at a distance of 70m to the south, comprises several reverse curves. The reason is the effort to avoid negative impacts on problematic surface structures, i.e. a 12-storey panel building, TELECOM buildings, the “Dobrák” swimming pools etc.

The design of the vertical alignment of both tunnels is subjected to the technique of excavation in the given geological conditions of so-called “Brno tégl” ground, to the necessity for linking to the pre-portal sections in Královo Pole without any collision with trunk sewers (the Ponávka I covered brook, the Ponávka II sewer) and the minimisation of demolition work. From the tunneller’s and future user’s point of view, the vertical alignment of both tunnels is improper because there are sags in the lower parts of the tubes. Water will have to be pumped both during the tunnel excavation and the operation. The maximum longitudinal gradient amounts to 4.5%.

GEOLOGY

The sequence of strata in the tunnel cross section is relatively very monotonous, i.e. secondary loess and anthropogenic fills up to 3 – 10m thick, locally with layers of saturated gravel to sand terraces. The sub-base of the terraces consists of Neogene clay (“Brno Těgl”) several tens of metres thick (the bedrock was not found even by boreholes over 60m deep). Groundwater is bound in gravel sand layers on the upper horizon of the Neogene in the form of aquifers in local depressions. The consistence of the Neogene clays is stiff, locally hard. In terms of plasticity, Brno Těgl is highly plastic; in combination with water it is extremely squeezing.

The overburden depth is approximately the same for both tunnels. It ranges from 6m to a maximum value of about 21m. The alignment is designed to pass through Neogene clay so that a minimum thickness of 2 - 3m of the impervious Neogene clay cover is always guaranteed.

The tunnel construction was preceded by geological exploration galleries driven at a total length of 2,000m within the cross sections of the Tunnels I and II to allow detailed geological and geotechnical investigation, including measurement of deformations and settlement of the surface. The galleries were driven as parts of the excavation of the tunnels, by the technique which will be utilised for the big tunnels. The impacts of the gallery excavation were taken into account in a back analysis, where the overall effects of the tunnel construction on existing buildings were calculated.

potok Ponávka I, stoka Ponávka II a minimalizaci demoličních prací. Z pohledu tunelářského i budoucího uživatele je podélný profil obou tunelů velmi nevhodný – v obou tunelech se v dolní části vyskytuje údolnicový zakružovací oblouk. Při ražbě i za provozu bude nutno trvale čerpat odpadní vody. Maximální podélný sklon dosahuje 4,5 %.

GEOLOGIE

V profilu tunelů je geologický sled relativně velmi monotónní – pokryvné vrstvy sprašových hlín a antropogenních navážek mocnosti 3 až 10 m, ve spodním horizontu s místními polohami lokálně zvodnělých šterkových až písčitých teras. Podloží teras je tvořeno neogenními jíly (brněnské tégly) o velké mocnosti několik desítek metrů (skalní podloží nebylo zastiženo ani vrty hloubky přes 60 m). Spodní voda je vázána ve šterkopískových polohách na svrchním horizontu neogenu ve formě zdrží v lokálních depresích. Konzistence neogenních jílu je tuhá až mírně pevná. Z hlediska plasticity jsou tégly vysoce plastické a ve spojení s podzemní vodou silně tlačivé.

Výška nadloží u obou tunelů je přibližně stejná a pohybuje se v rozmezí od 6 m do maximální hodnoty cca 21 m. Výškově jsou oba tunely vedeny v neogenních jílech tak, aby byla vždy zajištěna minimální nepropustná výška nadloží neogenních jílu nad výrubem cca 2 až 3 m.

Výstavbě tunelů předcházela ražba průzkumných geologických štol v profilu tunelu I i II o celkové délce přes 2000 m, kde byl proveden podrobný geologický a geotechnický průzkum včetně měření deformací a poklesů na povrchu. Štoly byly raženy již jako součást ražby tunelů – dílčí výrubu prováděné stejnou technologií, jako budou raženy velké tunely. Účinky ražby štol byly zohledněny v rámci zpětné analýzy při výpočtech celkových účinků stavby tunelu na povrchovou zástavbu.

TECHNOLOGIE RAŽBY

Metoda ražby je navržena se svisle i horizontálně členěnou čelbou (Ulmenstollen), s primárním ostěním ze stříkaného betonu s ocelovými výztužnými prvky.

Poklesová kotlina se vytvářela dle matematických modelů relativně velmi úzká, v závislosti na mocnosti nadloží do max. vzdálenosti cca 22 až 25 m od osy tunelu, s maximálními poklesy do cca 110 mm nad osou tunelu.

KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TUNELOVÉHO OSTĚNÍ

Příčné uspořádání tunelů je tříprostorové – dopravní prostor a přístropí rozdělené na dvě části – přívod čistého a odtah znečištěného vzduchu. Tunelové ostění je dvouplášťové s mezilehlou uzavřenou izolací. Primární ostění je navrženo ze stříkaného betonu s ocelovými výztužnými rameny (plnostěnné nebo příhradové), v extrémních případech v úsecích s malým nadložím nebo nebezpečím vytváření nepřípustných poklesů na povrchu, bude ostění doplněno o krycí mikropilotový deštník v horní části klenby. Vzhledem ke zjištěné agresivitě podzemních vod bude mít primární ostění temporární charakter – hlavní nosnou funkci bude mít ostění sekundární ze železobetonu.

EXCAVATION TECHNIQUE

Both the horizontal and vertical sequences (Ulmenstollen) are designed, with the excavation supported by primary lining consisting of shotcrete and steel support elements.

A relatively very narrow settlement trough was developed according to mathematical models, depending on the thickness of the cover up to a distance of approximately 22 to 25m from the tunnel centre line; maximum settlement values about 110mm above the tunnel centre line.

TUNNEL LINING DESIGN

The cross-section of the tunnel consists of three compartments, i.e. the traffic space and the roof space, which is divided into two parts – for supply of fresh air and exhaust of polluted air. The tunnel lining is a double-shell structure with intermediate waterproofing. The primary lining is designed from sprayed concrete with steel arches (compact or lattice types); a canopy of pre-sprayed tubes will be installed in extreme cases of sections with a low cover or sections risky in terms of development of unallowable settlement of the surface. Considering the information about the groundwater aggression action, the primary lining will be of a temporary character – the principal load bearing structure will be the reinforced concrete secondary lining.

TUNNEL CROSS-SECTION – BASIC DATA

Basic width of traffic lanes in the tunnel	3.50m
Clearance height	4.50m
Net width between kerbs	8.50m
Traffic space	57.95m ²
Air exhaust space	12.0m ²
Primary lining 350mm thick	11.95m ³ /lm
Secondary lining min. 450mm thick	32.53m ³ /lm
Excavated cross-section of the tunnel	125m ²

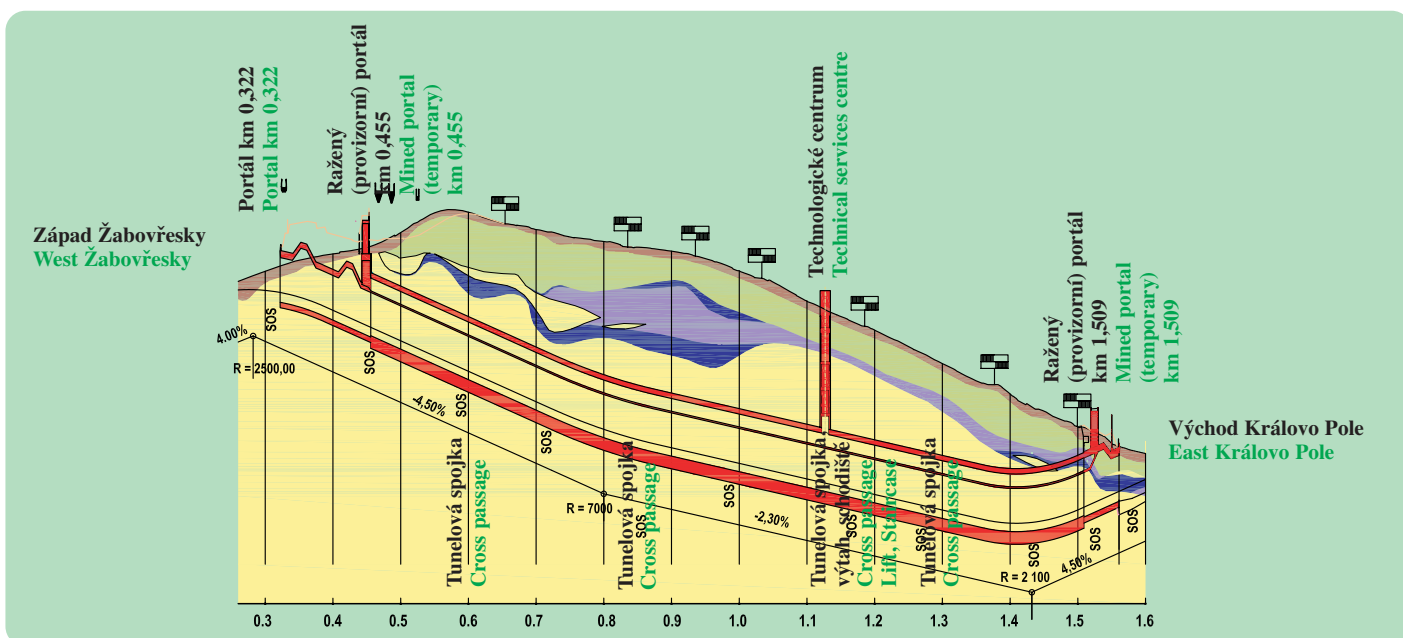
OPERATIONAL VENTILATION OF THE TUNNEL

A semi-transversal ventilation system is designed. Fresh air will be sucked into the tunnels via portals on both sides. Polluted air will be exhausted centrally to the space of a tunnel services centre, which is approximately one third of the tunnel length distant from the end. It will be discharged into the atmosphere at a height of 25m above the ground surface, at an increased velocity, through two 25m high shafts. Both tunnels will have separate ventilation systems, entirely independent, with a possibility of exhausting the smoke generated during a fire event from any place centrally. The cut-and-cover sections of the tunnels are equipped with longitudinal reversible jet fans allowing corrections of the air flow velocity and direction.

SAFETY ASPECTS OF THE STRUCTURE

The tunnel tubes are interconnected by four cross passages; one of the passages allows escape directly into the open space via a staircase or using an evacuation lift. Emergency laybys 40m long will be provided in both tunnels.

There will be 6 SOS niches installed in each tunnel, in recesses in the right-hand sidewalls, provided with a standard set of equipment. Hydrant lines will



Obr. 2 Podélný profil tunelu

Fig. 2 Longitudinal cross section through the tunnel

PROFIL TUNELŮ – ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

Základní šířka jízdních pruhů v tunelu	3,50 m
Světlá podjezdová výška	4,50 m
Světlá šířka mezi obrubníky	8,50 m
Plocha dopravního prostoru	57,95 m ²
Prostor pro odsávání vzduchu	12,0 m ²
Primární ostění tl. 350 mm	11,95 m ³ /bm
Sekundární ostění tl. min. 450 mm	32,53 m ³ /bm
Výrubový profil tunelu	125 m ²

PROVOZNÍ VĚTRÁNÍ TUNELU

Je navrženo polopříčné odvětrání. Čistý vzduch bude do tunelů přísáván portály na obou stranách. Znečištěný vzduch bude odsáván centrálně do prostoru technologického centra cca v 1/3 délky tunelu. Do ovzduší bude vyfukován zvýšenou rychlostí dvěma komíny výšky 25 m nad okolním terénem. Odvětrání obou tunelů bude samostatné a zcela nezávislé s možností centrálního odsávání kouře při požáru z kteréhokoliv místa. Hlubené části tunelů jsou doplněny podélnými proudovými reverzibilními ventilátory pro případnou korekci rychlosti a směru proudění vzduchu.

BEZPEČNOSTNÍ STAVEBNÍ ÚPRAVY

Obě tunelové roury jsou propojeny celkem čtyřmi tunelovými spojkami, z nichž jedna umožňuje únik přímo do volného prostoru po schodišti nebo evakuačním výtahem. V obou tunelech budou zřízeny nouzové odstavné zálivy délky 40 m.

Vpravo ve směru jízdy budou umístěny výklenky se skříňemi SOS – celkem 6 výklenků SOS v každém tunelu se standardním vybavením. V obou tunelových rourách a únikových cestách včetně podzemních prostor technologického centra bude zřízen požární vodovod se zaokružováním a možností odstavování jednotlivých okruhů v případě velkých havárií, doplněný navíc v tunelových spojkách a únikových cestách ještě suchovody.

Kanalizace bude provedena se šachtami s protipožární úpravou (možný požár PHM), čerpací stanice odpadních vod v nejnižším místě obou tunelů bude mít 100% rezervu včetně jistiění a zálohování čerpadel.

TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

Z hlediska bezpečnosti provozu a osob v tunelu je možno konstatovat, že technologické vybavení tunelu odpovídá běžným standardům, které jsou rovněž v již provozovaných brněnských tunelech. V Brně již funguje pod správou Brněnských komunikací, a. s., od roku 1999 centrální tunelový dispečink (CTD) s trvalou obsluhou, na který budou veškerá zařízení Královopolských tunelů napojena.

TECHNOLOGICKÉ CENTRUM

Pro zvolený systém odvětrání tunelů a ostatní technologická zařízení je nutno vybudovat odpovídající prostory, zejména pro ventilátory a výdechový objekt, a to uprostřed relativně velmi husté obytné zástavby. Podzemní objekt technologického centra bude mít půdorysné rozměry 14x44 m, hloubka čisté podlahy únikové cesty a nejspodnější podlaží je 25,50 m pod terénem. Celkem bude mít technologické centrum šest podzemních a jedno nadzemní podlaží, dva komíny s výškou 25 m nad terénem. Tunel II bude k technologickému centru připojen dvěma stolami – únikovou cestou s kabelovým kanálem a větrací stolu přes samostatnou strojovnu VZT přímo do komínu. Na povrchu budou pouze dva relativně malé přízemní objekty (zastavěná plocha 315 m²) s příjezdovou komunikací a dva komíny. Uvedené nadzemní objekty budou architektonicky začleněny do budoucí výstavby polyfunkčního objektu.

ZÁVĚR

Tunely jsou situovány do území z hlediska urbanistického a dopravního velmi exponovaného. Hustá povrchová obytná a občanská zástavba se souvisejícími inženýrskými sítěmi a dopravními komunikacemi na povrchu, spolu se specifickými geologickými podmínkami brněnských neogenních jíílů (tégllů) řadí stavbu tunelů a souvisejících objektů VMO Dobrovského mezi zcela ojedinělá inženýrská díla, nemající v České republice obdoby.

Na základě geotechnických a geologických poznatků z ražby štůl byly matematickým modelováním podrobně prošetřeny vlivy ražby na povrchovou zástavbu v okolí tunelových tras. Zpracovává se podrobná pasportizace objektů v trase obou tunelových rour v zóně ohrožení, která obsahuje 260 objektů. Asi 100 nadzemních objektů bude před ražbou dodatečně vyztuženo a podchyceno. V nejkritičtějších místech ražby budou provedena pomocná opatření ke zmírnění účinků ražby. Jde o mikropilotové deštníky, injektáže zvodnělých šterkových vrstev a clonící či příčné stěny z pilířů tryskové injektáže. Zahájení výstavby tunelů se předpokládá v roce 2006.

ING. VLASTIMIL HORÁK, Amberg Engineering Brno a. s.,
e-mail: vhorak@amberg.cz



Obr. 3 Čelba průzkumné štoly

Fig. 3 Exploration gallery heading

be installed in both tubes and escape corridors, including the underground technical services centre. The distribution system will consist of circuits allowing their closure in a major emergency. Dry mains will be added in the cross passages and escape corridors.

The sewerage system will comprise fire-protected shafts (fuel or oil fire is possible); the fault water pumping station built at the lowest point of both tunnels will have a 100% reserve capacity, including circuit breakers and standby pumps.

TECHNICAL SERVICES IN THE TUNNEL

Regarding the safety of operation and persons in the tunnel, it is possible to state that the technical services in the tunnel correspond to common standards, which have been applied to Brno's operating tunnels. A permanently manned tunnel management centre, which all equipment of the Královo Pole tunnels will be connected to, has been working since 1999.

TECHNICAL SERVICES CENTRE

The tunnel ventilation system and other technical services designed for the tunnels require adequate spaces, above all a ventilation fan room and an exhaust structure, all of this amid relatively very dense residential development. The underground structure of the technical services centre will have the footprint dimensions of 14 x 44m; the escape corridor floor and the lowest floor of the centre are at a depth of 25.50m under the surface. In total, the centre will have 6 underground and one above ground levels and two 25m high chimneys. The Tunnel II will be connected to the technical services centre via two galleries, i.e. the escape route with a cable duct, and a ventilation duct leading via the independent ventilation plant room directly to the chimney. There will be only two relatively small single-storey buildings (ground-floor space of 315m²) with an access road, and two chimneys. In terms of architecture, the above-mentioned surface structures will be incorporated into the future construction of a multi-purpose centre.

CONCLUSION

The tunnels are situated in an area that is extremely exposed in terms of urban design and traffic needs. The dense community and residential development and all related utility services and roads on the surface, together with the specific geological conditions of the Brno Neogene clays (Brno Tégll), rank the construction of the tunnels and other structures of the LCRR Dobrovského with outstanding civil engineering projects having no match in the Czech Republic.

The impacts of the excavation on the existing surface structures around the tunnel routes have been investigated in detail by mathematical modelling based on the geotechnical and geological data obtained from the exploration gallery drives. A detailed condition survey of the structures found along the routes of the tunnel tubes, within an endangered zone containing 260 structures is being carried out. Approximately 100 above ground structures will be reinforced and underpinned prior to the excavation. Additional measures designed to mitigate the effects of the excavation will be implemented in the most critical locations. Those measures consist of canopy tube pre-support, grouting of saturated gravel layers, and jet grouted columns forming longitudinal cut-off walls or transversal walls. The tunnel construction is expected to commence in 2006.

ING. VLASTIMIL HORÁK, Amberg Engineering Brno a. s.,
e-mail: vhorak@amberg.cz