

# TUNEL BÔRIK – MODIFIKOVANÉ PROJEKTOVÉ RIEŠENIE V REALIZAČNEJ DOKUMENTÁCIÍ

## THE BÔRIK TUNNEL – A MODIFIED DESIGN SCHEME IN THE DETAILED DESIGN

RÓBERT ZWILLING, JÁN SNOPKO

### ÚVOD

Tunel Bôrik je súčasťou základného diaľničného ťahu D1 v Slovenskej republike prebiehajúceho po trase Bratislava–Žilina–Prešov–Košice–hranica s Ukrajinou. Po dobudovaní bude predmetný úsek diaľnice súčasťou európskej cesty E50, ktorá prechádza z Francúzska cez Nemecko, Čechy, Slovensko, Ukrajinu a Rumunsko a ďalej na juh. Trasa úseku diaľnice D1 medzi Mengusovcami a Jánovcami leží na území Prešovského kraja, prevažne okresu Poprad. Horský masív Bôrik prekonáva diaľnica tunelom s rovnomenným názvom. Tunelové riešenie skracuje trasu diaľničného úseku oproti povrchovému riešeniu – obchádzaním horského masívu zo severnej strany o viac ako 3600 m a z južnej strany o cca 3500 m. Ďalej umožňuje bezkolízne vedenie diaľničnej trasy urbanizovaným prostredím a chránenou krajinnou oblasťou TANAP. Tunelové riešenie predstavuje najmenší zásah do prírodného prostredia, a teda zároveň plní významnú ekologickú funkciu – ochranu krajinného prostredia. Portály tunela sa nachádzajú v úpätných častiach chrbta Bôrika, ktorý má dĺžku 2,5 km, šírku 0,7–1,1 km a maximálnu nadmorskú výšku 922,1 m.

Tunel je projektovaný pre diaľničnú dopravu s dvomi tunelovými rúrami, s jednosmernou premávkou. Prierezy tunelových rúr sú riešené s požiadavkami kladenými na tunely v Európskej únii. Dĺžka tunelových rúr je 985 m, resp. 979 m, podľa nariadenia vlády 344/2006 Z.z. SR z 24. 5. 2006. Smerovo je trasa vedená v dvoch protismerných oblúkoch s vloženou prechodnicou. Výškovo prebiehajú obe rúry prevažne v sklone cca 1 %. Vzhľadom na celkovú dĺžku tunela sú navrhnuté tri priečne prepojenia, krajné dve prechodné pre chodcov a stredné prejazdné. Približne v strede každej tunelovej rúry sa nachádza núdzový záliv dĺžky 50 m.

### IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE STAVBY

Stavba:	Diaľnica D1 Mengusovce–Jánovce, Tunel Bôrik
Investor:	Národná diaľničná spoločnosť, a. s., Mlynské Nivy 45, 821 09 Bratislava
Dodávateľ:	Zduženie IS – Marti Contractors, Priemyselná 7, 042 45 Košice
Zhotoviteľ tunela:	TUBAU, a. s., Bytčická 89, 010 09 Žilina
Geotech. monitoring:	GEOFOS, s. r. o., Veľký diel 3323, 010 08 Žilina
Projektant DVP:	Basler & Hofmann Slovakia, s. r. o., Panenská 13, 811 03 Bratislava
Stavebný dozor:	Terraprojekt, a. s., Podunajská 24, 821 06 Bratislava
Amberg Engineering Slovakia, s. r. o., Záhradnícka 27, 811 07 Bratislava	
Autorský dozor:	DOPRAVOPROJEKT, a. s., Kominárska 24, 832 03 Bratislava

### TECHNICKÉ ÚDAJE

Kategória tunela:	T-7.5
Typ tunela:	Dvojpruhový jednosmerný
Dĺžka ľavej (severnej) tunelovej rúry:	985,40 m (z toho razený tunel 935,04 m)
Dĺžka pravej (južnej) tunelovej rúry:	978,96 m (z toho razený tunel 931,06 m)
Výška priečného prierezu:	4,8 m
Počet prechodových chodieb:	3 z toho jedna prejazdná pre zásahové jednotky
Začiatok výstavby:	2006
Predpokladaný čas uvedenia do prevádzky:	2009

### INTRODUCTION

The Bôrik tunnel is part of the basic motorway route D1 in the Slovak Republic, running from Bratislava, through Žilina, Prešov and Košice to the Ukrainian frontiers. After completion, the motorway section in question will become part of the European route E50 running from France, through Germany, the Czech Republic, Slovakia, Ukraine and Romania further to the south. The D1 motorway section between Mengusovce and Jánovce lies in the Prešov region, mostly in the Poprad district. The motorway crosses the mountain massif Bôrik via a tunnel of the same name. Compared with an at-grade design with the road bypassing the mountain massif on the north or south, the tunnel solution reduces the motorway route length by over 3,600m and about 3,500m respectively. In addition, this solution allows the alignment to pass the urbanised environment and the TANAP conservation area without any collision. The tunnel solution means the lowest environmental impact; therefore it fulfils a significant role in terms of environmental protection. The tunnel portals are located in foothill parts of the Bôrik ridge. The ridge is 2.5km long, 0.7 – 1.1km wide, with the maximum altitude of 922.1m a.s.l.

The tunnel is designed for motorway traffic, with two unidirectional tunnel tubes. The tunnel cross sections are solved in accordance with requirements applied to tunnels in the European Union. The tunnel tubes are 985 m and 979 m long, according to the Decree of the Government of the SR of 24.5.2006. The horizontal alignment of the tunnel consists of two reverse curves interconnected by a transition curve. The vertical alignment is mostly on a gradient of about 1.0%. Three cross passages have been designed with respect to the aggregate length of the tunnel: the outer two passages for pedestrians and the central one vehicular sized. A 50m long lay-by is approximately in the centre of each tunnel tube.

### PROJECT IDENTIFICATION DATA

Project:	Mengusovce – Jánovce section of D1 motorway, the Bôrik tunnel
Owner:	Národná diaľničná spoločnosť a.s., Mlynské Nivy 45, 821 09 Bratislava
Contractor:	„IS - Marti Contractors“ consortium, Priemyselná 7, 042 45 Košice
Tunnelling contractor:	TUBAU, a.s., Bytčická 89, 010 09 Žilina
Geotech. monitoring:	GEOFOS, s.r.o., Veľký diel 3323, 010 08 Žilina
Consulting engineer:	Basler&Hofmann Slovakia s.r.o., Panenská 13, 811 03 Bratislava
Terraprojekt a.s., Podunajská 24, 821 06 Bratislava	
Supervising engineer:	Amberg Engineering Slovakia, s.r.o., Záhradnícka 27, 811 07 Bratislava
Consulting engineer's supervision:	DOPRAVOPROJEKT, a.s., Kominárska 24, 832 03 Bratislava

### TECHNICAL DATA

Tunnel category:	T-7.5
Tunnel type:	Double-lane, unidirectional
Left (northern) tunnel tube length:	985.40m (of that - mined tunnel 935.04m)
Right (southern) tunnel tube length:	978.96m (of that – mined tunnel 931.06m)
Height clearance:	4.8m
Number of cross passages:	3; of that one for intervention units
Commencement of works:	2006
Expected commissioning date:	2009

## INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ POMERY

Tunel Bôrik je situovaný v trase diaľnice D1 Mengusovce–Jánovce v horskom masíve Bôrik. Z geomorfologického hľadiska patrí do Fatransko-tatranskej oblasti, celok Kozie chrbty, severný výbežok oddielu Dúbrava. Širšie okolie tunela tvorí mierne zvlnený až rovný reliéf Popradskej kotliny.

### Inžinierskogeologické pomery

Na geologickej stavbe územia sa podieľal kvartérny komplex a horniny chočského príkrovu. Kvartérny komplex bol zastúpený deluviálnymi sedimentami, v rámci ktorých boli vyčlenené íly, kamenitoľovitá a fľovitokamenitá suta, eluviálnymi sedimentami v zastúpení rozložených dolomitov a glaciofluviálnymi sedimentami, v ktorých boli dokumentované vrstvy pieskov a štrkov s rôznym %ným petrografickým zastúpením valúnov, s rôznou opracovanosťou, rôznym stupňom zvetrania a premenlivým priemerom valúnov. Predkvartérne horniny chočského príkrovu tvorili väčšinou dolomity a v úseku núdových zálivov lunzské fľovité bridlice. Pri portálových častiach a v mieste tektonických porúch boli horniny značne tektonicky porušené, silne zvetrané až rozložené. Ílovité bridlice vytvárali v horninovom masíve oslabené miesta s trvalým prítokom podzemnej vody.

Ako už bolo spomenuté, v trase tunela boli väčšinou zastúpené dolomity chočského príkrovu s hustou sieťou drobných puklín. Sporadicky boli v komplexe dolomitov dokumentované polohy pevnejších brekciovitých dolomitov. Obyčajne vytvárali výplň väčších tektonických porúch. Lunzské fľovité bridlice boli tmavosivej až svetlozelenej farby, laminované až hrubodoskovité, sporadicky lavcovité. V rámci horninového masívu vytvárali oslabené miesta, tektonické vložky, ohraničené výraznými tektonickými poruchami, ktoré mali charakter fľu s rôzne porušenými a zvetranými úlomkami dolomitov.

### Hydrogeologické pomery

Hydrogeologické pomery boli odozvou na geologickú a tektonickú stavbu razenej časti tunelových rúr. Keďže dominantné zastúpenie v trase tunela a jeho okolí mali dolomity chočského príkrovu, samotný výrub bol suchý. Ojedinelé vlhké miesta sa viazali na tektonické poruchy, ktoré boli vyplnené fľovitými zeminami. Odlišná bola situácia v miestach výskytu fľovitých bridlíc, najmä na kontakte s dolomitmi. Vzhľadom na fakt, že kontakt bol fľovitý, v ľavej tunelovej rúre, v mieste zálivu boli dokumentované trvalé prítoky podzemnej vody s výdatnosťou 5–6 l/min. Aj v samotných vrstvách fľovitých bridlíc bolo sporadicky dokumentované kvapkanie, resp. slabé prítoky podzemnej vody.

Kvartérny komplex deluviálnych sutí a glaciofluviálnych štrkov, dominantne zastúpených na západnom portáli, bol suchý.

## PRIMÁRNE OSTENIE TUNELA

Z dôvodu blízkeho vzájomného smerového vedenia južnej a severnej tunelovej rúry sa ako náhrady horninového piliera realizovali stredové piliere. Pilieri boli budované jednak zo západného portálu (dlhý 120 m)

## ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS

The Bôrik tunnel is located on the route of the Mengusovce – Jánovce section of the D1 motorway, in the Bôrik mountain range. From the geomorphological point of view, it belongs to the Fatra-Tatra region, the Kozie Chrbty unit, the northern spur of the Dúbrava section. The slightly undulated to flat terrain of the Poprad Basin forms the tunnel surroundings.

### Engineering geological conditions

The Quaternary complex and the Choč Nappe participated in the formation of the geological structure of the area. The Quaternary complex was represented by diluvial sediments, consisting of clays, stony-clayey and clayey-stony debris, eluvial sediments consisting of decomposed dolomites and glaciofluvial sediments within which layers of sands and gravels were documented with various percentage of the content of cobbles, various degree of milling, various degree of wear and varying diameter of cobbles. The Pre-Quaternary rocks of the Choč Nappe mostly consisted of dolomites and, in the section containing the lay-bys, the Lunz clayey shales. In the portal sections and tectonic faults, the rocks were significantly faulted, heavily weathered to decomposed. The clayey shales formed weakened locations with permanent ground water inflows.

As mentioned above, the Choč Nappe dolomites with a dense network of tiny fissures prevailed along the tunnel route. Layers of harder brecciated dolomites were sporadically documented in the dolomite complex. They usually formed the filling of larger tectonic faults. The Lunz clayey shales were dark-grey to dark-green, forming laminas to thick tables, sporadically even beds. Within the rock massif, they formed weakened locations, tectonic insertions, which are bounded by expressive tectonic faults having the character of clay with dolomite debris broken and weathered to various degrees.

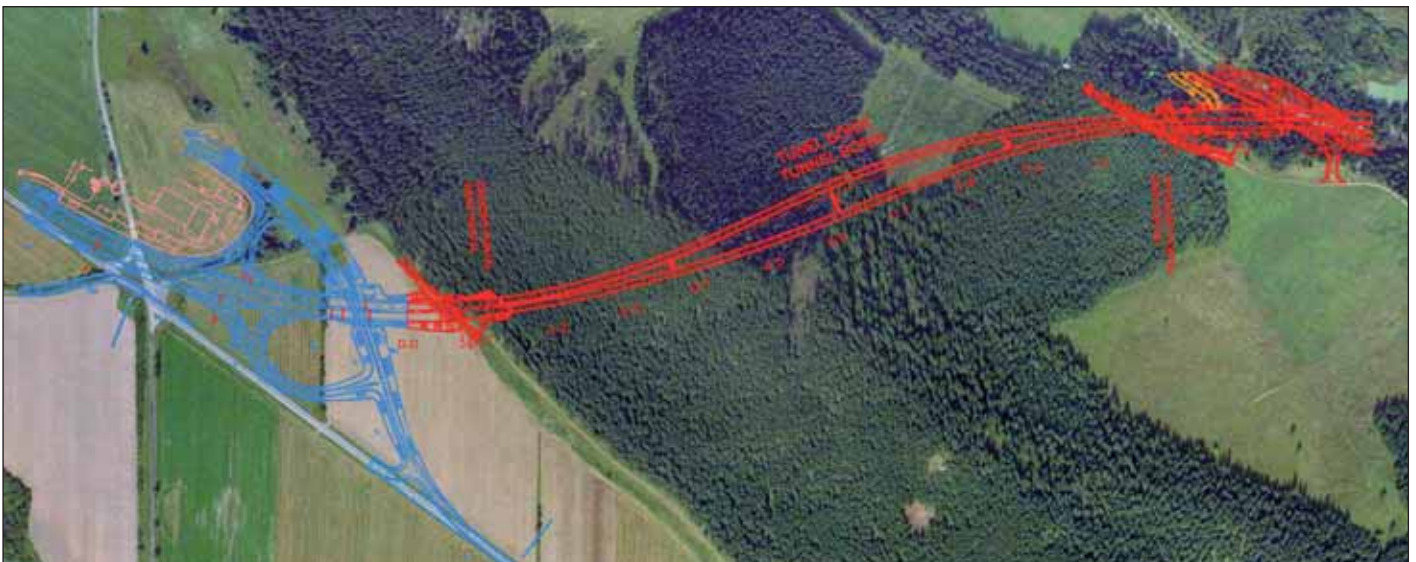
### Hydrogeological conditions

Hydrogeological conditions were a response to the geological and tectonic structure within the mined section of the tunnel tubes. Since the Choč Nappe dolomites prevailed along the tunnel route and in its vicinity, the excavation itself was dry. Sporadic wet locations were bound to the tectonic faults which were filled with clayey soils. The situation in the locations where clayey shales were encountered, mainly at the contact with dolomites, was different. Because of the fact that there was clay at the contact, permanent ground water inflows with the yield of 5-6l/min were documented in the left tunnel tube, in the lay-by location. Dripping or weak inflows of ground water were sporadically documented even in the clayey shale layers themselves.

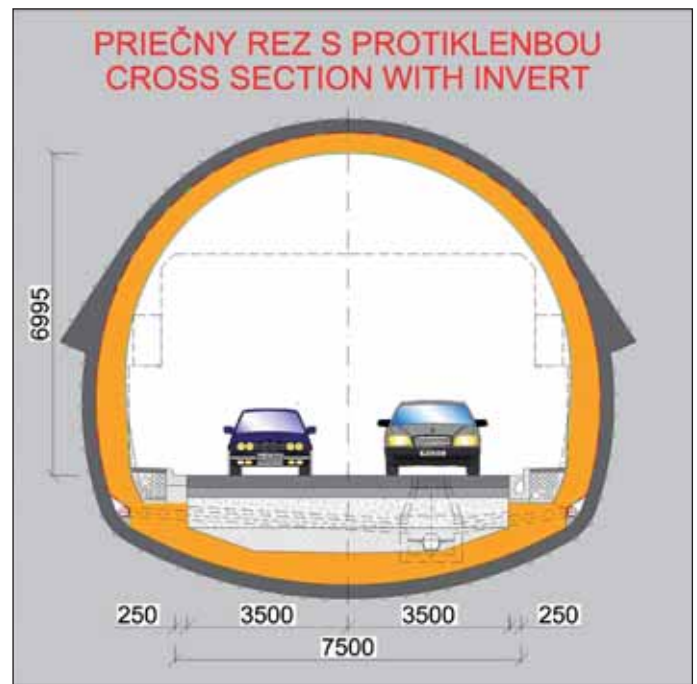
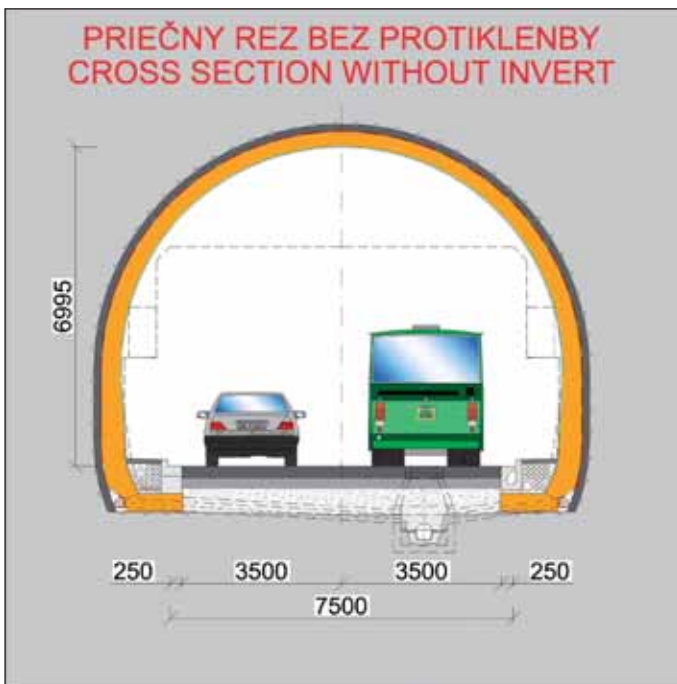
The Quaternary complex of deluvial debris and glaciofluvial gravels which dominate at the western portal was dry.

## PRIMARY TUNNEL LINING

Because of the fact that the horizontal alignment of the southern tube is very close to the northern one, the rock pillar is substituted by



Obr. 1 Situácia tunela  
Fig. 1 Tunnel layout



Obr. 2 Vzorové priečne rezy tunela bez spodnej klenby a so spodnou klenbou  
Fig. 2 Typical cross sections through the tunnel with and without an invert

a jednak z východného portálu (dlhý 60 m). Oproti dokumentácii na ponuku bol stredový pilier v realizačnom projekte tvarovo optimalizovaný. Za piliermi pokračovalo razenie južnej a severnej tunelovej rúry samostatne.

Ďalšou zmenou bolo zosúladenie čelieb na jednu úroveň na západnom portáli, čím zarážkové body jednotlivých tunelových rúr boli na rovnakej úrovni. Touto zmenou sa spôsobili nasledujúce úpravy v projektovej dokumentácii:

Zmena začiatku a konca razenia pilierovej štôlne a piliera;

Vyrovnanie pilierovej štôlne, začiatok razenia štôlne bol hneď od začiatku medzi pravou a ľavou tunelovou rúrou;

Nad južnou tunelovou rúrou bol vybudovaný dvojradový mikropilóto-vý dáždnik z dôvodu nízkeho nadložía tunela (cca 1 m);

Pri betónovaní stredného piliera podľa pôvodného projektu sa posledná etapa vykonávala so strateným debnením a s previazaním na pilóto-vú stenu (predsadená severná tunelová rúra). Navrhované riešenie zjednodušilo vytvorenie poslednej etapy piliera s voľným prístupom od portálu;

Pre razenie sa získal väčší manipulačný priestor v priestore západného portálu.

Primárne ostenie bolo realizované Novou rakúskou tunelovacou metódou. Výlomové práce sa realizovali kombináciou mechanického rozpojovania a použitia vrtno-trhacích prác. Vykonávanie trhacích prác a skladovanie výbušnín sa riadilo schválenými postupmi zhotoviteľa.

V dokumentácii na ponuku bolo celkovo navrhnutých 5 typov vystrojovacích tried s ďalším rozdelením na razenie so stredovým pilierom v portálových oblastiach, razením núdzových zálivov a prepojovacích chodieb. Tieto triedy boli upravené oproti predchádzajúcemu projektu z hľadiska technologických možností dodávateľa stavby a počas realizácie boli modifikované s ohľadom na skutočne zastihnutú geologickú situáciu počas razenia tunela.

Primárne ostenie bolo tvorené striekaným betónom triedy C 25/30 s vystužením pomocou oceľových sietí a priehradovým nosníkom triedy ocele 10505 (R). Na radiálne kotvenie tunela boli použité maltované, samozávrtné a hydraulicky rozpínané svorníky. V prípade potreby sa používala predháňaná oceľová výstuž a vo vystrojovacej triede VI bol použitý mikropilóto-vý dáždnik tvorený oceľovými rúrami  $\phi 114/6,3$ . Stabilizácia čelby sa v prípade potreby realizovala kotvením samozávrtnými svorníkmi s injektážou dĺžky 8 m.

### Stredový pilier

Už počas razenia pilierovej štôlne bolo ostenie zjednotené na jeden konštantný profil, a preto výška piliera ostala po celej svojej dĺžke konštantná v každej etape betonáže. V dokumentácii na ponuku malo ostenie štôlne kopírovať zväčšovanie profilu z dôvodu realizácie MP dáždnika. Pilier sa menil len šírko-vo podľa smerového vedenia tunelov. Dilatačné úseky piliera sa zjednotili na 10 m a došlo aj ku zjednodušeniu

central concrete pillars. The pillars were constructed both from the western portal (120m long) and the eastern portal (60m long). Compared with the tender documents, the geometry of the central pillar was optimised in the detailed design. Behind the pillars, the southern and northern tunnel tubes were driven separately.

Another modification consisted of arranging the excavation faces at the western portal to a side-by-side position, thus the excavation opening points for the individual tunnel tubes were at one face. The following modifications in the design documents were caused by this change:

The change in the starting and ending points of the pillar adit excavation and the pillar.

The straightening of the pillar adit; the adit excavation started from the very beginning between the right and left tunnel tubes.

A double-tier tube canopy was installed over the southern tunnel tube because of shallow tunnel cover (about 1.0m thick).

When the central pillar was to be cast according to the original design, the last stage was carried out using sacrificial formwork and tied to a pile wall (the front end of the northern tunnel tube is set forward). The proposed solution simplified the implementation of the last stage of the pillar construction, allowing free access from the portal.

A larger handling area was obtained for the excavation at the western portal.

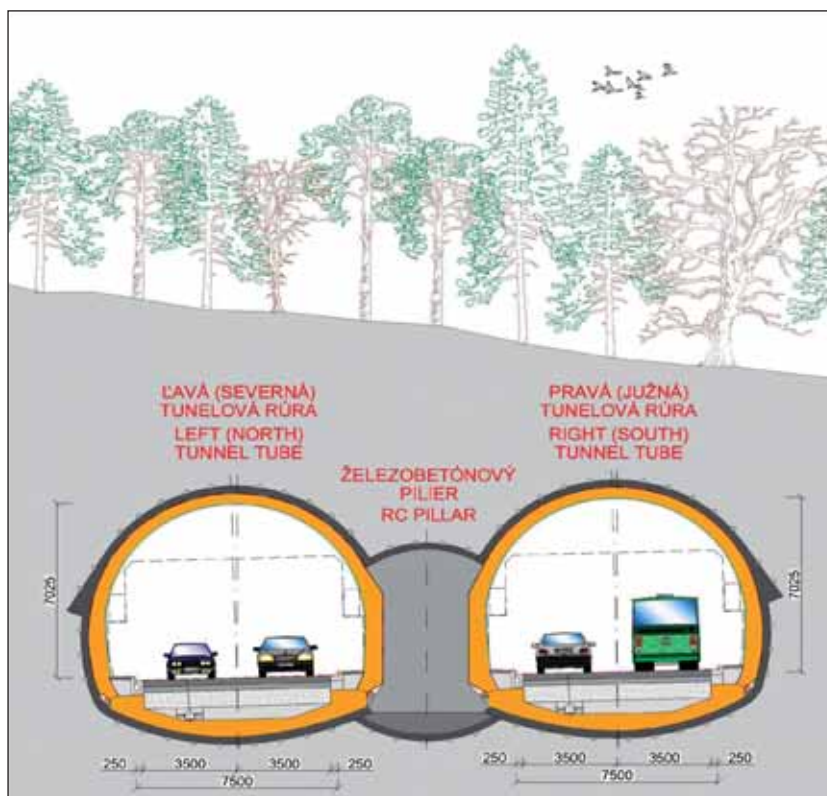
The primary support was installed using the New Austrian Tunnelling Method. The excavation was performed using a combination of mechanical breaking and the drill and blast technique. The blasting operations and storage of explosives followed contractor's approved procedures.

The total of 5 excavation support classes was proposed in the tender documents. The classes were further divided according to the subject of the excavation, i.e. the excavation containing the central pillar in the portal areas, excavation of lay-bys and excavation of cross passages. The classes were adjusted compared with the previous design in terms of technological abilities of the contractor. They were further modified during the construction, with respect to the geological situation which was actually encountered during the excavation.

The primary support consisted of C 25/30 sprayed concrete, steel mesh and lattice girders of 10505 (R) grade steel. Grouted rock bolts, self-drilling bolts and water-expanded bolts were used for the radial anchoring of the excavation. If required, steel spiling was applied and, in the case of excavation support class VI, canopy tube pre-support was installed (steel tubes  $\phi 114/6.3$ ). When needed, the excavation face was stabilised by anchoring, using 8m long, grouted self-drilling rock bolts.

### The central pillar

The lining was unified to a single constant profile as early as during the pillar adit excavation. Therefore, the height of the pillar remained



Obr. 3 Vzorový priečný rez tunela s náhradou horninového piliera železobetónovým pilierom

Fig. 3 Typical cross section through the tunnel with the rock pillar substituted by the reinforced concrete pillar

vystuženia a betonáže piliera. Pilier na východnom portáli bol skrátený o 1 m na 60 m (6 etáp výstavby piliera). Na západnom portáli sa zmenou zarážkových bodov posunulo staničenie začiatku a konca piliera pri nezmenenej dĺžke 120 m (12 etáp výstavby piliera).

Stredové piliere sa budovali v pilierových štôľňach späťne od konca štôľne smerom k portálu. Na vyhotovenie stredového piliera sa používal rýchlo tuhúci betón triedy C25/30 a prúťová a sieťová výstuž triedy 10505 (R). Minimálne krytie výstuže bolo 5 cm. Napojenie primárneho ostenia na stredový pilier bolo zabezpečené pomocou vylamovacích prvkov.

Betonáž stredového piliera bola vykonávaná v dvoch etapách. Najskôr sa betonovala spodná a potom horná časť piliera.

Založenie stredového piliera bolo upravené oproti dokumentácii na ponuku pridaním založenia piliera na mikropilotach v miestach, kde podľa skúšok podložia neboli dosiahnuté požadované únosnosti v základovej škáre.

### Tunelové rúry

Pravá (južná) tunelová rúra má celkovú dĺžku 995,011 m (celková dĺžka vrátane otvorenej časti tunela), z toho razená časť 931 m, s jednostranným núdzovým zálivom dĺžky 51,2 m umiestneným približne v strede tunelovej rúry, slúžiacim ako odstavňý priestor, a troch únikových chodieb s protipožiarnymi dverami slúžiacich na opustenie tunelovej rúry v prípade vzniku požiaru. Južná rúra sa razila z dvoch strán, zo západného portálu v smere staničenia 251 m a z východného portálu 680 m. Počas razenia bola čelba horizontálne rozdelená na kalotu, lavicu a dno.

Razenie ľavej (severnej) tunelovej rúry bolo taktiež realizované z časti zo západného a z časti z východného portálu. Z celkovej dĺžky 1001,45 m (celková dĺžka vrátane otvorenej časti tunela) tvorí razená časť 935,04 m. Súčasťou severnej rúry je jednostranný núdzový záliv dĺžky 51,2 m. Zo západného portálu sa vyrazilo 329,12 m a z východného portálu 605,92 m.

Razenie tunelových rúr zo západného portálu malo úpadný sklon cca 1 % a razenie z východného portálu bolo dovrchné, v pozdĺžnom sklone cca 1,2 %.

### Zjednodušený popis vystrojenia jednotlivých vystrojovacích tried tunela

VT II profil bez spodnej protiklenby, razenie celého profilu bez členenia výrubu, vystrojenie: striekaný betón s oceľovou sieťou s kotvením s hydraulicky rozpínanými svorníkmi,

throughout its length constant in each concrete casting stage. In the tender documents, the lining of the adit was expected to copy the variable excavation profile, which was continually enlarged to allow the installation of the canopy tube pre-support. The pillar changed only its width, according to the horizontal alignment of the tunnels. The length of the casting blocks (expansion blocks) was unified to 10m and the pillar reinforcement and casting procedure were simplified. The length of the pillar at the eastern portal was reduced by 1.0m, to 60m (6 pillar construction stages). As a result of the change in the location of the excavation opening points at the western portal, the chainage of the beginning and the end of the pillar was shifted without changing its length of 120m (12 pillar construction stages).

The central pillars were constructed in pillar adits backwards, from the end of the adit toward the portal. C25/30 grade, rapid-set concrete and reinforcement consisting of bars and mesh of 10505 (R) steel grade were used for the construction of the central pillar. The minimum concrete cover over the reinforcement was 5cm. The connection of the primary lining to the central pillar was facilitated by means of keys in the structure.

The casting of the central pillar was carried out in two stages. First the bottom part was cast and the upper part followed.

The foundation of the central pillar was changed compared with the tender documents. Micropile foundations were added in the locations where, according to the sub-base tests, the required load-bearing capacity of the foundation base was not achieved.

### Tunnel tubes

The total length of the right (southern) tunnel tube is 995.011m (the total length, including the open section of the tunnel; of that the mined part takes 931.00m), with a 51.2m long single-sided lay-by located approximately

at the mid point of the tunnel tube length, serving as an emergency stopping space, and three escape adits with fire doors allowing evacuation of the tunnel tube in the case of a fire. The southern tunnel tube was driven from two sides: 251.00m from the western portal in the direction of the chainage and 680.00m from the eastern portal. The excavation face was divided during the excavation into top heading, bench and invert.

The excavation of the left (northern) tunnel tube was also carried out partly from the western portal and partly from the eastern portal. Of the total length of 1001.04m (the total length including the open section of the tunnel) the mined part makes up 935.04m. Part of the northern tunnel tube is a 51.2m long single-sided lay-by. The lengths of 329.12m and 605.92m were driven from the western and eastern portals respectively.

From the western portal, the tunnel tubes were driven on a down gradient of about 1%, while the excavation from the eastern portal was carried out uphill, on the longitudinal gradient of about 1.2%.

### Simplified description of the tunnel individual excavation support classes:

- Class II the profile without invert, excavation of the whole profile without dividing the face, support consisting of shotcrete, mesh and water-expanded rock bolts
- Class III the profile without invert, excavation using the horizontal excavation sequence, support consisting of shotcrete, mesh, lattice girders and water-expanded rock bolts
- Class IV, V the profile with invert, excavation using the horizontal sequence (top heading, bench, invert), the support consisting of shotcrete, mesh, lattice girders, self-drilling grouted rock bolts; the roof support by means of spiling
- Class VI the profile with invert; excavation using the horizontal sequence; the support consisting of shotcrete, mesh, lattice girders, self-drilling grouted rock bolts; this excavation support class was applied to portal parts of the tunnel, where the overburden was supported during the tunnel excavation by a tube canopy and contingent grouting of the ground environment through self-drilling rock bolts. The excavation face was anchored by self-drilling bolts.

In the area of the central pillar, the tunnel lining was connected directly to the pillar; keys were provided in the upper and bottom parts

VT III profil bez spodnej protiklenby, razenie celého profilu s horizontálnym členením výrubu, vystrojenie: striekaný betón s ocelovou sieťou a priehradovým nosníkom s kotvením s hydraulicky rozpínanými svorníkmi,

VT IV, V profil zo spodnou protiklenbou, razenie celého profilu s horizontálnym členením výrubu, vystrojenie: striekaný betón s ocelovou sieťou a priehradovým nosníkom s kotvením so samozávrtnými a maltovanými svorníkmi, zabezpečenie stropu výrubu bolo realizované pomocou ihlovania,

VT VI profil zo spodnou protiklenbou, razenie celého profilu s horizontálnym členením výrubu, vystrojenie: striekaný betón s ocelovou sieťou a priehradovým nosníkom s kotvením so samozávrtnými a maltovanými svorníkmi, táto vystrojovacia trieda bola používaná v portálových častiach tunela, kde bolo nadložie počas razenia tunela zachytené pomocou mikropilótového dáždika s prípadnou injektážou horninového prostredia pomocou samozávrtných svorníkov. Kotvenie čelby bolo realizované samozávrtnými svorníkmi.

V oblasti stredového piliera bolo ostenie tunela napájané priamo na pilier cez vylamovacie prvky v hornej a v spodnej časti piliera. Po dosiahnutí bezpečnej vzdialenosti tunelových rúr a prenesenia napätia medzi tunelovými rúrami horninovým pilierom pokračovalo razenie každej tunelovej rúry samostatne.

V tabuľke 1 sú uvedené porovnania predpokladaných a skutočne zrealizovaných dĺžok v jednotlivých vystrojovacích triedach pre južnú a severnú tunelovú rúru.

Počas razenia tunelových rúr prebiehal geotechnický monitoring, v ktorom boli realizované nasledovné činnosti:

- meranie deformácií na povrchu, vývoj poklesovej kotliny v priečnom smere a sledovanie deformácií portálových stien pomocou stabilizovaných nivelačných bodov na povrchu terénu,
- meranie deformácií výrubu – konvergenčné profily,
- meranie deformácií v zóne vplyvu výrubu a sledovanie stability svahu – inklinometrické merania vo vrtoch,
- meranie stupňa rozvolnenia horniny v okolí výrubu – extenzometrické merania,
- meranie napätí na kontakte horniny s primárnym ostením s použitím tlakomerných krabíc,
- meranie napätí v betóne primárneho ostenia s použitím tlakomerných krabíc,
- inžinierskogeologické sledovanie razenia, vrátane hydromonitoringu, systematická kontrola a dozor v priebehu razenia,
- sledovanie skutočného výrubu a nadvýlomov.

Rozmiestnenie a počet meracích profilov a bodov bol navrhnutý podľa predpokladaných inžinierskogeologických pomerov. Počet meracích profilov sa počas razenia tunelových rúr optimalizoval podľa potreby a profily boli osadzované do miest, kde razenie prechádzalo do inej vystrojovacej triedy, prípadne sa vyskytol nejaký problém a bolo potrebné si overiť stabilitu primárneho ostenia.

Na základe výsledkov, o ktorých boli informovaní všetci účastníci stavby elektronickou poštou a geotechnickými poradami, sa primárne

of the pillar to allow the connection. When the safe distance between the tunnel tubes had been achieved and the rock pillar had started to be able to withstand the stress between the tunnel tubes, the excavation of each tunnel tube continued separately.

Table 1 presents comparisons of the expected lengths and the lengths actually driven through individual excavation support classes, for the southern tunnel tube and northern tube.

Geotechnical monitoring was conducted during the driving of the tunnel tubes. The following activities were performed as parts of the monitoring:

- measurement of surface deformations, development of the settlement trough (transversally), and monitoring of deformations of portal walls by means of levelling points stabilised on the surface
- measurement of deformations of the excavation – convergence stations
- measurement of deformations in the zone affected by the excavation and monitoring of the slope stability – inclinometer measurements in boreholes
- measurement of the degree of ground loosening in the vicinity of the excavation – extensometer measurements
- measurement of stresses at the contact between rock and primary lining using pressure cells
- measurement of stresses in the concrete primary lining using pressure cells
- engineering geological monitoring of the excavation operations including hydromonitoring, systematic checks and supervision during the course of the excavation
- monitoring of the actual excavation and overbreaks

The distribution and number of measurement stations and points were designed according to the expected engineering geological conditions. The number of measurement stations was optimised during the course of the driving of the tunnel tubes according to the need. The stations were installed in the locations where the excavation passed to another support class rock or a problem occurred and the stability of the primary support had to be verified.

Measurement results were distributed to all parties to the project through e-mail and the primary lining was optimised at geotechnical meetings. Measures designed to improve safety during the tunnel excavation were implemented if necessary.

## SECONDARY TUNNEL LINING

Concrete grade C25/30 with polypropylene fibres was designed for the secondary lining. This solution was proposed and approved in the previous design stages to provide protection of the structure in the case of a fire in a tunnel tube. Unreinforced concrete was used in excavation support classes II and III, while concrete reinforced with steel mesh and reinforcement bars was used in the other classes, i.e. IV, V and VI.

The maximum length of casting blocks was 10m. The locations of individual niches for cleaning the outer drainage, hydrant niches, SOS niches and cross passages were accommodated to this length. Conduits for installation of tunnel equipment were cast in the blocks according to respective equipment schemes.

Tab. 1 Porovnanie dĺžok použitých vystrojovacích tried  
Table 1 Comparison of the lengths driven through the applied excavation support classes

Dokumentácia na ponuku (predpoklad) Tender documents (assumption)			Skutočne zrealizované dĺžky Actual lengths of drives		
VT Class	severná TR NTT	južná TR STT	VT Class	severná TR NTT	južná TR STT
II	390,808	393,424	II,B	54,2	85,1
III	147,893	143,897	III,B	371,3	393,4
IV	90,816	88,913	IV,B	255,2	217,7
V	83,008	81,652	V,B	14,1	4,1
IV-P	41,756	41,995	V-P,B	93,6	77,6
V-P	71,591	73,029	VI-P,B	95,5	101,9
VI-P	77,198	66,122	III-B NZ		15
NZ	40	40	IV-B NZ	51,2	36,3
Dĺžka celkom / Total length	943,07	929,03	Dĺžka celkom / Total length	935,1	931,1

ostenie optimalizovalo, prehodnocovali sa použitia jednotlivých vystrojovacích tried a boli vykonávané v prípade potreby opatrenia na zvýšenie bezpečnosti práce počas razenia tunela.

## SEKUNDÁRNE OSTENIE TUNELA

Sekundárne ostenie bolo navrhnuté z betónu triedy C25/30 s použitím polypropylénových vlákien. Toto riešenie bolo navrhnuté a schválené v predchádzajúcich projektových stupňoch ako ochrana konštrukcie pri vzniku požiaru v tunelovej rúre. Vo vystrojovacích triedach II a III bol použitý betón bez vystuženia, v ostatných triedach IV, V a VI vystužený oceľovou sieťovinou s doplnenou prúťovou výstužou.

Dĺžka betónovaných blokov bola maximálne dĺžky 10 m, čomu bolo prispôsobené aj umiestnenie jednotlivých výklenkov pre čistenie rubovej drenáže, výklenkov pre hydranty, SOS výklenkov a prepojovacích chodieb. Podľa vypracovanej technologickej schémy boli v blokoch umiestnené chráničky pre technologickú časť tunela.

### Popis zmien stavebnej časti vyplývajúcich z projektu technologickej časti tunela

V súbehu s projektovaním realizačnej dokumentácie pre stavebnú časť prebiehalo projektovanie technologickej časti tunela v stupni dokumentácia na ponuku. Do stavebnej časti to prinášalo zmeny vyplývajúce zo vzájomnej koordinácie. Stavebnú časť preto bolo potrebné aktualizovať a prispôbiť požiadavkám technológie tunela. Hlavnou príčinou zmien boli zmeny v predpisoch o bezpečnostných požiadavkách pre cestné tunely, ktoré sa od roku 2004 zmenili. V tom čase bola projektovaná stavebná a technologická časť tunela v projektovom stupni dokumentácia pre ponuku.

Pri vypracovaní projektu bola rešpektovaná smernica 2004/54/ES Európskeho parlamentu a rady „o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v transeurópskej cestnej sieti“ z apríla 2004, nariadenie vlády SR č. 344/2006 „o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na cestné tunely v cestnej sieti“, technické podmienky TP 04/2006 Požiarne bezpečnosť cestných tunelov a technické podmienky TP 98 Technologické vybavenie tunelů na pozemných komunikáciách.

Zmeny, ktoré boli odsúhlasené a odporúčané pre zmenu stavebnej časti:

Obojstranný núdzový záliv v tunelových rúrach bol zmenený z obojstranného na jednostranný a predĺžený o 10 m oproti tendrovej dokumentácii. V tomto predĺžení sa budú nachádzať elektrické rozvádzače a SOS kabína.

Prejazdný profil pre únikovú cestu UC2 bol zmenený na 3,6x3,5 m. Táto úniková chodba bude slúžiť v prípade potreby pre prístup záchraných jednotiek. Z dôvodu umiestnenia podružných rozvádzačov v únikových cestách UC1 a UC3, ktoré zabezpečujú potreby zariadení umiestnených v týchto únikových cestách, ako aj z dôvodu umiestnenia systému vzduchotechnických klapiek pretlakového vetrania nad dverami UC sú aj tieto UC realizované rovnakého profilu ako UC 2, pričom požiarne dvere budú len rozmeru prechodového profilu pre záchranú osôb. V únikových chodbách boli doplnené priečky a požiarne dvere kvôli zamedzeniu zadymenia chránenej únikovej cesty.

V zmysle TP 04/2006 Požiarne bezpečnosť cestných tunelov bol redukovaný počet požiarnych výklenkov v maximálnej vzdialenosti 150 m a s umiestnením v blízkosti únikového vchodu. SOS výklenky boli navrhnuté na min. pôdorysnú plochu 1,5 m<sup>2</sup> a min. výšku výklenku 2,25 m v zmysle českých technologických podmienok TP 98 Technologické vybavenie tunelů pozemných komunikácií.

Núdzové osvetlenie bude v zmysle TP 04/2006 rozmiestnené vo vzdialenostiach 20 m a v blízkosti únikových ciest a požiarnych hydrantov.

V koordinácii s projektantom technologickej časti sa upravili polohy portálov dopravného značenia, polohy, počty a veľkosti káblových šachiet v chodníkoch a chráničiek v sekundárnom ostení pre technologické vybavenie tunela.

### Uzemnenie a ochrana konštrukcie tunela pred bludnými prúdmi

Uzemnenie tunela je navrhnuté základovým uzemňovačom uloženým v betóne základových pátiiek v oboch tunelových rúrach. Základnými kovovými prvkami uzemňovačov sú dve oceľové tyče kruhového profilu s priemerom 25 mm. Tyče sú uložené na oboch stranách každej tunelovej rúry vždy v celej dĺžke dilatačného dielu. Tyče uložené v jednotlivých dilatačných dieloch sú pozdĺžne prepojené s tyčami v navzájom prepojených dilatačných dieloch pomocou pásov FeZn 30x4 mm privarených k tyčiam, a to do celkovej dĺžky spojeného obetónovaného uzemňovača 300 m. Tieto 300 m dlhé úseky základových uzemňovačov v oboch pátkách každej tunelovej rúry sú pozdĺžne i priečne navzájom prepojené cez rozpojiteľné body umiestnené v rozvodniach tunela alebo v prechodových



Obr. 4 Zrealizovaný núdzový záliv v južnej tunelovej rúre v primárnom ostení

Fig. 4 A completed lay-by in the southern tunnel tube, provided with a primary lining

### Description of the changes in the structural design following from the tunnel equipment design

The work on the tunnel equipment design for the tender purposes was carried out concurrently with the work on the detailed structural design. As a result, the changes following from mutual coordination had to be implemented in the structural design. The structural design had to be, therefore, updated and accommodated to the requirements of the tunnel equipment. The main reasons of the changes were changes in regulations on safety requirements for road tunnels, which had been changed since 2004. At that time, the structural design and equipment design were carried out in the tender documentation stage.

The following regulations were allowed for during the work on the design: the Directive of the European Parliament and of the Council No. 2004/54/ES on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European road network of April 2004 and the Decree No. 344/2006 of the Government of the SR on minimum safety requirements for road tunnels in the road network, the Technical Specifications TP 04/2006 Fire safety in road tunnels and Technical Specifications TP98 Road tunnel equipment.

The changes which were approved and recommended for implementation in the structural part (civils):

The double-sided lay-by in the tunnel tubes was changed to a single-sided one and extended by 10m compared with the tender documentation. Switchboards and an SOS cabin will be installed in the extension.

The clearance profile for UC2 escape route was changed to 3.6 x 3.5m. The escape route will be used for the access of rescue units if necessary. Because of the fact that sub-switch boards ensuring the needs of the equipment which is installed on the escape routes are installed on UC1 and UC3 escape routes and air dampers of the pressure ventilation system are installed above doors of these escape routes, the profile of these routes is identical with the UC2 profile, while the fire doors will have dimensions of a transition profile for rescue of persons. Partition walls and fire doors were added in rescue adits to prevent the protected rescue route against smoke logging.

In compliance with specifications TP 04/2006 on fire safety in road tunnels, the number of fire equipment recesses was reduced (maximum spacing of 150m), locations in the vicinity of escape exits. SOS niches were designed with the ground plan area of 1.5m<sup>2</sup> and minimum height of 2.25m, as required by Czech technical specifications TP 98 on road tunnel equipment.

Emergency lights will be distributed in the meaning of TP 04/2006, at 20m spacing plus in the vicinity of escape routes and fire hydrants.

The following changes were carried out in coordination with the engineering consultant for the tunnel equipment: locations of portals, traffic signs and locations, numbers and dimensions of cable pits in pavements and conduits for the installation of tunnel equipment, cast in the secondary lining.

### Earthing and protection of the structure against stray currents

The tunnel earthing design consists of earthing assemblies cast in the concrete footings in both tunnel tubes. The basic metal elements of the earthing assembly are two steel, circular cross section rods 25mm in diameter. The rods are placed on both sides of each tunnel tube,



Obr. 5 Slávnostná prerážka južnej tunelovej rúry dňa 11. 12. 2007  
Fig. 5 Southern tunnel tube breakthrough ceremony on 11. 12. 2007

chodbách. Pásik FeZn 30x4 mm je ďalej vyvedený v každej káblovej šachte tak, aby sa k nemu dali pripojiť ďalšie elektrické zariadenia.

Ochrana pred bludnými prúdmi spočíva v navrhnutí ochranných opatrení príslušných zistenému riziku vzniku bludných prúdov v mieste tunela. Ide v zásade o opatrenie v stavebnej časti tunela a o umožnenie merania bludných prúdov v priebehu výstavby a aj po dokončení stavby tunela.

Zo záverov základného korózneho prieskumu vyplývala nutnosť zaisťovať ochranné opatrenia v stupni č. 3. Stupeň č. 3 predstavuje kombináciu primárnej a sekundárnej ochrany podľa TP 124.

Do miest s predpokladaným zvýšeným negatívnym pôsobením bludných prúdov na konštrukciu tunela sú zabudované CMS elektródy na umožnenie sledovania korózie výstuže. Ide vždy o prechod medzi hĺbenou a razenou časťou tunela a o portálové bloky tunela. Na rozhraniach hĺbenej a razenej časti je inštalovaná vždy jedna CMS elektróda a na portáloch tunela sú inštalované vždy dve CMS elektródy. Konce CMS elektród sú prepojené pomocou káblov uložených v chráničkách do kontrolných meracích objektov inštalovaných v čelách tunela na oboch vonkajších slaboprúdových stranách.

## HÍBENÉ TUNELY A TERÉNNÉ ÚPRAVY NA ZÁPADNOM PORTÁLI

V návrhu realizačnej dokumentácie došlo k zmene tvaru jamy oproti dokumentácii na ponuku. Táto zmena bola spôsobená posunom zarážkových bodov oboch tunelových rúr na jednu úroveň, čo malo nasledovné pozitívne dôsledky:

- nebolo potrebné realizovať konštrukciu strednej pilótovj steny,
- nebolo potrebné realizovať konštrukciu betónového stropu – korytnačky,
- začiatok razenia pilierovej štólne bol umiestnený v priamej osi, čím sa vylúčil zložitý postup razenia pilierovej štólne pod dáždnikom pri zmene smeru zo šikmej osi do priamej osi štólne.

Z dôvodu posunu zarážkového bodu severnej tunelovej rúry bola podzemná pilotová stena predĺžená v smere do razenej tunela. Konštrukcia bola zrealizovaná z veľkopriemerových pilót  $\varnothing$  880 mm, ktoré boli zabezpečené pomocou kotviacich prahov v troch úrovniach. Kotvenie bolo navrhnuté pomocou štvorpramencových lanových kotiev dĺžky 20 m so vzájomnou vzdialenosťou 2400 mm. V časti trvalého zárubného múru sú lanové kotvy navrhnuté s trvalou protikoróznou úpravou, s ochrannými kotevnými hlávami, ktoré sú zakomponované do trvalého zárubného múru.

Z dôvodu zachovania línie dočasného záberu bola čelná portálová stena navrhnutá v sklone 5:1. Kotvenie čelnej portálovej steny korešpondovalo s predzaistením výrubu pilierovej štólne a oboch tunelových rúr prostredníctvom mikropilotového dáždnika. Zaistenie čelnej steny bolo navrhnuté po spodnú úroveň kaloty z klincov, resp. samozávrtných (IBO) kotiev  $\varnothing$  32, L = 8–12 m, pričom IBO kotvy umiestnené v profile štólne a tunelových rúr boli navrhnuté vodorovne, takže ich bolo možné využiť ako zaistenie čela výrubu počas razenia.

Súčasťou prác na hrubých terénnych úpravách bol aj geotechnický monitoring, ktorého cieľom je sledovanie deformácií svahov, najmä južnej a čelnej portálovej steny. Za týmto účelom bol osadený 1 inklinometer do hĺbky 20 m nad ľavým svahom zaisteným pilotovou stenou a 10 pozorovacích geodetických bodov. Inklinometrické meranie, ako aj geodetické merania prebiehali každých 7 dní počas budovania portálovej

throughout the length of each casting (expansion) block. The rods installed in individual casting blocks are connected with the rods in neighbouring blocks by means of 30x40mm FeZn strips welded to the rods, up to the total length of the connected earthing assembly cast in the footings of 300m. The 300m long sections of the foundation earthing assemblies, which are in both footings of each tunnel tube, are connected longitudinally and transversally with each other through connectable points installed in switchboards in the tunnel or in cross passages. The 30x40mm FeZn strip is further led to each cable pit, where other electrical devices can be connected to it.

The protection against stray currents is a system of protection measures adequate to the determined risk of origination of stray currents in the given tunnel location. It is, in principle, a measure in the structural part of the tunnel enabling the measuring of stray currents during the construction and after the completion of the tunnel construction.

The results of the basic corrosion survey led to the conclusion that degree No. 3 of protective measures had to be designed. Degree 3 is a combination of primary and secondary protection according to specifications TP 124.

CMS electrodes allowing the monitoring of reinforcement corrosion are installed in the locations where increased negative effect of stray currents on the tunnel structure is expected. It is always the transition between a cut-and-cover and mined part of the tunnel and tunnel portal blocks. One CMS electrode is always installed at the interface between the cut-and-cover and mined part, while two CMS electrodes are always installed at tunnel portals. The ends of the electrodes are connected, by cables leading through conduits, to test points installed at the front faces of the tunnel.

## CUT-AND-COVER TUNNELS AND BULK EXCAVATION AT THE WESTERN PORTAL

A change in the shape of the construction trench was carried out in the detailed design compared with the tender documentation. The change was caused by the shifting of the excavation opening points for the two tunnel tubes to the side-by-side position. It had the following positive consequences:

- the central pile wall did not have to be constructed,
- the concrete vault (so-called "turtle shell" construction technique) did not have to be constructed,
- the beginning of the pillar adit driving was located on the straight axis, thus the complicated procedure for the pillar adit driving under canopy tube pre-support in the situation where the direction of the axis of the adit was changing from skew to straight was excluded.

Because of the shifting of the northern tunnel tube excavation opening point, the diaphragm wall was extended toward the mined tunnel. The structure was carried out from large-diameter piles  $\varnothing$  880 mm, which were supported by three tiers of anchored walers. The anchoring design consisted of 20m long, four-strand cable anchors installed at 2400mm spacing. Cable anchors with permanent corrosion protection were designed for a part of the permanent revetment wall; anchor heads, which are also corrosion-protected, are integrated into the revetment wall.

With the aim of maintaining the limits of the area of temporary works, the front portal wall was designed inclined at 5:1. The anchoring of the front portal wall corresponded with the canopy tube pre-support of the excavation of the pillar adit and both tunnel tubes. The support of the front wall was designed to cover the area ending at the bottom of the top heading, consisting of dowels or self-drilling (IBO) anchors  $\varnothing$  32, L = 8 - 12 m, with the IBO anchors located within the cross section of the adit and tunnel tubes installed horizontally to be used during the driving as the excavation face support.

Part of the work on the bulk excavation was geotechnical monitoring, which was carried out with the aim of observing slope deformations, primarily deformations of the southern wall and front portal wall. For this purpose, 1 inclinometer was installed at the depth of 20m, above the left slope supported by a pile wall, and 10 monitoring survey points. The inclinometer measurement as well as the survey were performed every 7 days during the work on the portal trench, then they were carried out every 30 days.

The cut-and-cover section of the tunnel tubes at the western portal consists of 3 blocks of the left tunnel tube (a 26.416m long section) and 2 blocks of the right tunnel tube (a 14.194m long section). Individual blocks of the cut-and-cover tunnels are founded on 800mm thick base slabs, which are connected by means of shear keys. The



Obr. 6 Realizácia sekundárneho ostenia tunela v mieste priečného prepojenia

Fig. 6 Installation of the secondary tunnel lining at the cross passage

výkopu a následne každých 30 dní.

Hĺbený úsek tunelových rúr na západnom portáli je tvorený 3 blokmi ľavej tunelovej rúry (dĺžka úseku 26,416 m) a 2 blokmi pravej tunelovej rúry (dĺžka úseku 14,194 m). Jednotlivé bloky hĺbených tunelov sú založené na vzájomne zazubených základových doskách hrúbky 800 mm. Železobetónové klenby hĺbených tunelov hrúbky 450 mm, z betónu C25/30 majú vnútorný prierez totožný s profilom razeného tunela. V klenbe budú uložené chráničky pre vedenie káblov technologického vybavenia a CMS elektródy na meranie stupňa korózie výstuže. Ochrana železobetónových konštrukcií pred horninovou vodou bude realizovaná pomocou PE hydroizolácie hrúbky 2 mm. Hydroizolácia bude chránená vrstvou geotextílie a 50 mm hrubou vrstvou striekaného betónu vystuženého jednou vrstvou zváraných sietí.

Konečný výzor západného portálu tunela bude spoluurčovať 45 m dlhý ľavostranný zárubný múr obložený riadkovým kamenným murivom, ktorý bude zabezpečený permanentnými kotvami. Čelný portálový svah bude zabezpečený výstužnými prvkami Green Terramesh, so sklonom 45°.

## HĽBENÉ TUNELY A TERÉNNE ÚPRAVY NA VÝCHODNOM PORTÁLI

Portálová jama v priestore východného portálu bola zrealizovaná podľa dokumentácie na ponuku okrem pravého svahu v km 1,112–1,160 km, ktorý bol navrhnutý a zrealizovaný v sklone 1:1.75. Toto riešenie umožnilo vynechať dočasné zaistenie svahu striekaným betónom a klincami, čo umožnilo rýchlejší postup hĺbenia zárezu. Hranice dočasného záberu zostali nezmenené.

Súčasťou prác na hrubých terénnych úpravách bol aj geotechnický monitoring, ktorého cieľom je sledovanie deformácií svahov, najmä severnej a čelnej portálovej steny. Za týmto účelom bol osadený 1 inklinometer do hĺbky 20 m nad pravým klincovaným svahom a 8 pozorovacích geodetických bodov (4 na čelnej stene, 4 na pravom bočnom klincovanom svahu).

Hĺbený úsek tunelových rúr na západnom portáli je tvorený 4 blokmi ľavej tunelovej rúry (dĺžka úseku 40,000 m) a 5 blokmi pravej tunelovej rúry (dĺžka úseku 49,762 m). Jednotlivé bloky hĺbených tunelov, spravidla dĺžky 10 m, sú založené na vzájomne zazubených základových doskách hrúbky 800 mm. Železobetónové klenby hĺbených tunelov hrúbky 450 mm, z betónu C25/30 majú vnútorný prierez totožný s profilom razeného tunela.

Konečný výzor východného portálu tunela Bôrik bude spoluurčovať cca 100 m dlhý pravostranný gravitačný zárubný múr obložený riadkovým kamenným murivom. Do tohto múru bude zakomponovaný technologický objekt – východný portál. Čelný portálový svah bude rovnako ako na západnom portáli zabezpečený výstužnými prvkami Green Terramesh, so sklonom 45°.

## ODVEDENIE DRENÁŽNYCH A OPLACHOVÝCH VÔD Z TUNELA

Do návrhu odvodnenia tunela boli v realizačnej dokumentácii zapracované viaceré technické zmeny vyplývajúce zo skúseností z predošlých tunelových stavieb na Slovensku, ktorých zmyslom je najmä eliminácia detailov citlivých na poruchy a poškodenia počas realizácie stavby.

450mm thick, C25/30 reinforced concrete vaults of the cut-and-cover tunnels have their inner cross section identical with the profile of the mined tunnel. Conduits for cables for tunnel equipment and CMS electrodes for measuring the degree of corrosion will be cast in the vault. Protection of reinforced concrete structures against ground water will be performed by a 2.00mm thick PE waterproofing membrane. The membrane will be protected by geotextile and a 50mm thick layer of shotcrete with one layer of welded mesh.

The final look of the western portal will be co-determined by a 45m long, left-side, coursed masonry faced revetment wall, which will be supported by permanent anchors. The front portal slope will be stabilised by Green Terramesh units at a gradient of 45°.

## CUT-AND-COVER TUNNELS AND BULK EXCAVATION AT THE EASTERN PORTAL

The portal trench at the eastern portal was carried out according to the tender documentation, with the exception of the right slope at chainage km 1.112 – 1.160, which was designed and carried out at a gradient of 1:1.75. Owing to this solution, the temporary support of the slope with shotcrete and dowels could be omitted, which fact made faster progress of the excavation of the trench possible. The borders of the area of temporary works remained unchanged.

Part of the bulk excavation operations was geotechnical monitoring, which was focused on the observation of slope deformations, primarily the northern wall and front portal wall. For that purpose, 1 inclinometer was installed at the depth of 20m above the right slope supported with dowels and 8 monitoring survey points (4 on the front wall, 4 on the right side slope supported with dowels).

The cut-and-cover section of the tunnel tubes at the western portal consists of 4 blocks forming the left tunnel tube (a 40.000m long section) and 5 blocks forming the right tunnel tube (a 49.762m long section). Individual blocks of the cut-and-cover tunnels, usually 10m long, are founded on 800mm thick base slabs, which are connected by means of shear keys. The 450mm thick, C25/30 reinforced concrete vaults of the cut-and-cover tunnels have their inner cross section identical with the profile of the mined tunnel.

The final look of the eastern portal will be co-determined by an about 100m long, right-side, coursed masonry faced gravity revetment wall. The equipment services structure at the eastern portal will be incorporated into the wall. The front portal slope will be stabilised in the same way as the slope at the western portal, by Green Terramesh stabilisation units at a gradient of 45°.

## EVACUATION OF DRAINAGE AND RINSING WATER FROM THE TUNNEL

Some technical changes, drawn from experience from previous tunnel constructions in Slovakia, were incorporated into the detailed design for the tunnel drainage. The purpose of the changes was, first of all, the elimination of details sensitive to failures and damage during the course of the construction.

The changes contained in the modified design for the evacuation of drainage water consist mainly of the replacement of the main DN 400 main sewer and the DN 150 drainage of the sub-grade by DN 350 drainage piping, fulfilling both functions.

PVC-U DN 200mm perforated pipes are designed for the side drains located at the footing of the vault, between the primary lining and secondary lining structures. The pipeline is placed throughout its length on concrete bed and encased in porous concrete.

The main drain, consisting of DN 350 pipes with a perforated top part, is encased in the lower part (up to the perforation level) in C16/20 concrete, while it will be protected by porous concrete on the top.

The main drain within the entire extent of the cut-and-cover tunnels consists of pipes without perforation (PVC-U DN 400 in the eastern portal section and PVC-U DN 250 in the western portal section), located under the base slabs. Mechanical protection is provided by C16/20 concrete.

Permanent drainage of the cut-and-cover tunnel sections is provided by DN 200 drainage pipes placed on the base slab. PVC-U DN 200 pipes without perforation are designed for the crossings of expansion joints between cut-and-cover tunnels and mined tunnel tubes. This drainage is connected to drainage cleaning niches, which are provided in the initial blocks of the cut-and-cover tunnels at the eastern portal.

Zmeny v modifikovanom návrhu odvedenia drenážnych vôd obsahujú najmä nahradenie hlavného kanalizačného zberača DN 400 a odvodnenia pláne DN 150 za drenážne potrubie DN 350 plniace obe funkcie.

Bočné drenážne odvodnenie umiestnené pätách klenby medzi konštrukciou primárneho a sekundárneho ostenia je navrhnuté z perforovaných rúr PVC-U DN 200 mm. Potrubie je po celej dĺžke tunela uložené na podkladný betón a obetonované filterbetónom.

Hlavný drenážny zberač DN 350 s perforáciou v hornej časti je v spodnej časti obetonovaný betónom C16/20 (po úroveň perforácie) v hornej časti bude chránený drenážnym medzerovitým betónom.

V celom rozsahu hĺbených tunelov je hlavný drenážny zberač navrhnutý ako plnostenný (PVC-U DN 400 – východný portálový úsek a PVC-U DN 250 – západný portálový úsek) a umiestnený pod úrovňou základových dosiek. Mechanická ochrana je zabezpečená betónom triedy C16/20.

Trvalé odvodnenie hĺbených častí tunela je zabezpečené drenážnymi rúrami profilu DN 200 umiestnenými na základovej doske. V mieste prechodu cez dilatáciu hĺbený – razený tunel je potrubie navrhnuté ako plnostenné z PVC-U DN 200. Toto drenážne odvodnenie je zústené do výklenkov čistenia drenáže, ktoré sú navrhnuté v prvých blokoch hĺbených tunelov na VP.

Pre odvedenie oplachových vôd bola hlavnou zmenou zmena tvaru štrbinových prefabrikátov, žľab odvodnenia vozovky má modifikovaný tvar umožňujúci lepšie využitie priestorov pre káblové chráničky ako aj lepšiu aplikáciu vodorovného dopravného značenia.

Odvodnenie povrchu vozovky je realizované zo štrbinových prefabrikátov s obrubníkom (betón C45/55, XD3, XF4 v súlade s STN-EN-206-1), uložených vždy na nižšej strane vozovky. Navrhnutý kladáčsky plán štrbinových prefabrikátov odvodnenia vozovky v dĺžkovom usporiadaní 4-4-2, zabezpečuje kopírovanie spojov jednotlivých prefabrikátov a pracovných škár sekundárneho ostenia tunela, a tým eliminuje možnosť vzniku trhlin v štrbinových prefabrikátoch. Čistiace šachty dĺžky 2 m sú situované každých 50 m.

## VOZOVKA, CHODNÍKY A KÁBLOVÉ TRASY

Na základe skúseností z viacerých slovenských diaľničných tunelov bola v rámci realizačnej dokumentácie v tuneli Bôrik navrhnutá overená konštrukcia vozovky s nevystuženým cementobetónovým krytom s rezanými priečnymi i pozdĺžnymi škárami, ktorá nahradila pôvodne navrhnutú vozovku s tenším krytom vystuženým drátkobetónom.

Skladba vozovky v razenom tuneli je nasledovná:

Cementobetónový kryt	CB I	260 mm
Cementová stabilizácia	SC I	220 mm
Drenážna vrstva – štrkodrva	ŠD 0-32, 0-45	min 330 mm

Uvedená skladba bez drenážnej vrstvy s modifikovanou hrúbkou cementovej stabilizácie bude použitá aj v úsekoch hĺbených tunelov a núdzových zálivov.

Dvojvrstvový cementobetónový kryt hrúbky 26 cm bude delený na dosky rezanými škárami vystrojenými klznými tŕňmi a kotvami. Maximálny rozmer dosiek krytu vozovky je 5,0x3,6 m, pričom priečne škáry korešpondujú s pracovnými škárami blokov sekundárneho ostenia.

Umiestnenie revízných šachiet hlavného drenážneho zberača a osadenie poklopov do cementobetónového krytu je navrhnuté tak, aby nedochádzalo k vzniku „divokých“ trhlin cementobetónového krytu vozovky.

Návrh riešenia chodníkov a káblových trás rešpektuje požiadavky upraveného projektu technologického vybavenia tunela. Zmeny oproti dokumentácií na ponuku boli najmä nasledovné:

- uloženie chráničiek 14 Ø40 HDPE do pravého chodníka ľavej (severnej) tunelovej rúry, čím sa eliminovalo nepružné uloženie vozovky v mieste navrhovaného kanála pre optické káble;
- zmena počtu, priemeru a osadenia chráničiek a zmena počtu, rozmiestnenia a veľkosti káblových šachiet vyplývala zo zmien technologického vybavenia tunela a nových požiarnych predpisov;
- uloženie poklopov káblových šachiet bude riešené pomocou betónového ozubu, dodatočne zrealizovaného v mieste káblovej šachty.

ING. RÓBERT ZWILLING, [rzw@bhb.sk](mailto:rzw@bhb.sk),  
 BASLER & HOFMANN SLOVAKIA, s. r. o., BRATISLAVA,  
 ING. JÁN SNOPKO, [snopko@terraprojekt.sk](mailto:snopko@terraprojekt.sk),  
 TERRAPROJEKT, a. s., BRATISLAVA

Recenzovala: Ing. Viktória Chomová



Obr. 7 Zrealizované hĺbené časti tunela na východnom portáli  
 Fig. 7 Completed cut-and-cover sections of the tunnel at the eastern portal

The change in the shape of the slotted drain was the main change regarding the evacuation of rinsing water. The shape of the slotted drain was modified to allow better use of the space for cable ways and better application of road markings.

Water from the roadway surface is evacuated through precast slotted drains with curbs (C45/55, XD3, XF4 concrete complying with STN-EN-206-1 standard), which are always installed on the lower side of the roadway. The 4-4-2 configuration is designed in the laying plan for the slotted drains, which means that the joints between individual prefabricates copy the joints in the tunnel secondary lining. This configuration eliminates the possibility of developing cracks in the slotted drains. Inspection (cleaning) manholes 2m long are installed at 50m spacing.

## ROADWAY, WALKWAYS AND CABLEWAYS

A structure of the roadway verified on the basis of experience obtained from several Slovak motorway tunnels was designed for the Bôrik tunnel in the detailed design. It has an unreinforced concrete cover with sawed transverse and longitudinal joints. This design replaced the originally designed roadway with a thinner cover of steel fibre reinforced concrete.

The following roadway structure is used in the mined tunnel:		
Concrete cover	CB I	260 mm
Cement stabilisation	SC I	220 mm
Drainage course – gravel-sand	ŠD 0-32, 0-45	min 330 mm

The above-mentioned structure without the drainage course and with the modified thickness of cement stabilisation will be used even in the cut-and-cover tunnel sections and lay-bys.

The 26cm thick double-course cement cover will be divided into slabs by sawed joints containing slipping dowels and anchors. The minimum dimension of the top slabs is 5.0 x 3.6m, whilst the transverse joints correspond to construction joints in the secondary lining blocks.

The locations of inspection manholes on the main drain and installation of covers in the concrete roadway is designed in a way which will prevent the development of “wild” cracks in the concrete road cover.

The walkway and cable way design allows for requirements of the modified tunnel equipment design. There were mainly the following deviations from the final design (tender documents):

- the placement of 14 Ø40 HDPE cableways under the right walkway in the left (northern) tunnel tube; thus the non-elastic bearing of the roadway structure in the location of the proposed duct for optical cables was eliminated.
- a change in the number, diameter and location of cableways and a change in the number, location and dimensions of cable pits due to changes in the tunnel equipment and new fire regulation.
- the mounting of cable pit covers will be solved by means of a dent in concrete, which will be carried out additionally in the cable pit location.

ING. RÓBERT ZWILLING, [rzw@bhb.sk](mailto:rzw@bhb.sk),  
 BASLER & HOFMANN SLOVAKIA, s. r. o., BRATISLAVA,  
 ING. JÁN SNOPKO, [snopko@terraprojekt.sk](mailto:snopko@terraprojekt.sk),  
 TERRAPROJEKT, a. s., BRATISLAVA