

TUNEL LALIKI – PRVÝ CESTNÝ RAZENÝ TUNEL V POĽSKU

LALIKI TUNNEL – THE FIRST MINED ROAD TUNNEL IN POLAND

RÓBERT ZWILLING, JOZEF BARTOŠ

ÚVOD

Predmetom výstavby rýchlostnej komunikácie S-69 Bielsko–Biala–Żywiec–Zwardoń, úsek C2 bol polovičný profil rýchlostnej komunikácie s jednou tunelovou rúrou. Po ukončení stavebných prác prebiehali asi 3 mesiace skúšky technologického vybavenia. Tunel s úsekom rýchlostnej komunikácie bol do prevádzky odovzdaný 5. 3. 2010.

Tunel je prvým cestným razeným tunelom v Poľsku. Nachádza sa v južnom Poľsku neďaleko hraničného priechodu Skalité–Zwardoń medzi Slovenskou republikou a Poľskom. Svoje pomenovanie dostal podľa obce Laliki, v ktorej blízkosti sa nachádza. Tunel pretína chrbát Sobczakowej Grapy s nadmorskou výškou 766,3 m.

Razenie prebiehalo podľa zásad Novej rakúskej tunelovacej metódy. Geologickú stavbu záujmového územia tvorili paleogénne flyšové vrstvy ílovcov a pieskovcov, ktoré mali v zóne zvetrania a tektonického porušenia charakter ílu, resp. sute ílovito-kamenitej.

Identifikačné údaje stavby

Názov stavby:	Budowa drogi ekspresowej S-69 Bielsko–Biala–Żywiec–Zwardoń, úsek C2: Szare–Laliki km 40+475 – km 43+155,74
Investor stavby:	Generalna dyrekcja dróg krajowych i autostrad
Dodávateľ stavby:	Konzorcium firm Bögl a Krýsl, k. s., Praha – Doprastav, a. s., Bratislava
Zhotoviteľ tunela:	Doprastav, a. s., Bratislava
Projektant zhotoviteľa:	Basler&Hofmann Slovakia, s. r. o., Bratislava
Geotechnický dozor zhotoviteľa:	Geofos, s. r. o., Žilina, Arcadis Geotechnika a. s., Geoexperts, s. r. o., Žilina
Autorský dozor:	Mosty Katowice, Katowice

Technické údaje

Typ tunela:	jednorúrový, obojsmerný
Šírkové usporiadanie:	voľná šírka medzi obrubníkmi 8,4 m
Šírka jazdných pruhov:	2x3,5 m
Šírka chodníkov:	1,7 m
Dĺžka hlavného tunela:	678 m (razený tunel 630 m)
Dĺžka únikovej štôlne:	678,49 m (razená štôlna 630,49 m)
Výška priechodného prierezu cestného tunela:	4,7 m
Počet a dĺžka prepojavacích chodieb:	4x jednotnej dĺžky 22 m
Realizácia:	11. 2007–11. 2009
Uvedenie do prevádzky:	marec 2010
Celkové investičné náklady pre úseky C1 a C2 s tunelom:	viac ako 88 mil. eur

ZMENY TECHNICKÉHO RIEŠENIA TUNELA

V Poľsku zatiaľ chýba dostatočná legislatíva na projektovanie tunelov. Pri projektovaní sa síce preberajú skúsenosti zo zahraničia, hlavne z nemecky hovoriacich krajín, ale na druhej strane sa do projektu dostávajú rôzne požiadavky, ktoré nie sú v tuneloch štandardné. Spomenúť je treba hlavne šírkové usporiadanie tunela, kde pri voľnej šírke vozovky medzi obrubníkmi je 8,4 m a šírke jazdného pásu 3,5 m vzniká spevnená krajnica šírky 0,45 m. Ďalším špecifikom šírkového usporiadania je extrémna šírka chodníkov 1,7 m. Počas prípravy sme navrhovali upravenie šírkového usporiadania a tým zmenšenie šírky prechodového prierezu. Napríklad pri porovnaní s našou kategóriou tunela T8,0 a šírkou chodníka 1 m by sa dalo ušetriť na svetlej šírke tunela 1,8 m. Z požadovaných priestorových nárokov vyplýval aj celkový, nie celkom staticky vhodný tvar tunela. V prípade zmeny tvaru by sa dalo hovoriť aj o výrazných úsporách na stavebných nákladoch.

Počas realizácie sme predkladali rôzne možnosti úprav tunela podľa našich zvyklostí, ale vo väčšine prípadov sme neuspeli. V tuneli bolo v zadávacej dokumentácii navrhnuté drenážne odvodnenie z kameninových rúr so vzdialenosťou čistiacich šácht 75 m, resp. 150 m. V tomto prípade sme navrhovali zmenu materiálu rúr

INTRODUCTION

The subject of the construction of section C2 of the S69 speedway between Bielsko–Biala–Żywiec–Zwardoń was a half of the profile of the expressway with one tunnel tube. When the civil works had been completed, an about 3 months long period followed during which the tunnel equipment was being tried. The tunnel together with the speedway section was inaugurated on 05/03/2010.

The tunnel is the first mined road tunnel in Poland. It is found in southern Poland, near a border crossing between the Slovak Republic and Poland. It was given its name after the village of Laliki in the vicinity of which it is located. The tunnel cuts through the Sobczakowa Grapa ridge with the altitude of 766.3m above sea level.

The tunnel was driven using the New Austrian Tunnelling Method. Geology of the area of operations comprised Palaeogene, flysh layers of claystone and sandstone, having the character of clay or claystone debris in the weathered and tectonically disturbed zone.

Identification data on the project

Project name:	Budowa drogi ekspresowej S-69 Bielsko–Biala–Żywiec–Zwardoń, Section C2: Szare – Laliki km 40+475 – km 43+155.74
Project owner:	Generalna dyrekcja dróg krajowych i autostrad
Construction contractor:	Consortium of companies consisting of Bögl a Krýsl, k. s. Praha –Doprastav, a. s., Bratislava
Tunnelling contractor:	Doprastav, a. s., Bratislava
Design Consultant to Contractor:	Basler&Hofmann Slovakia, s. r. o., Bratislava
Contractor's geotechnical supervision:	Geofos, s. r. o., Žilina, Arcadis Geotechnika a. s., Geoexperts, s. r. o., Žilina
Architect's Supervision:	Mosty Katowice, Katowice

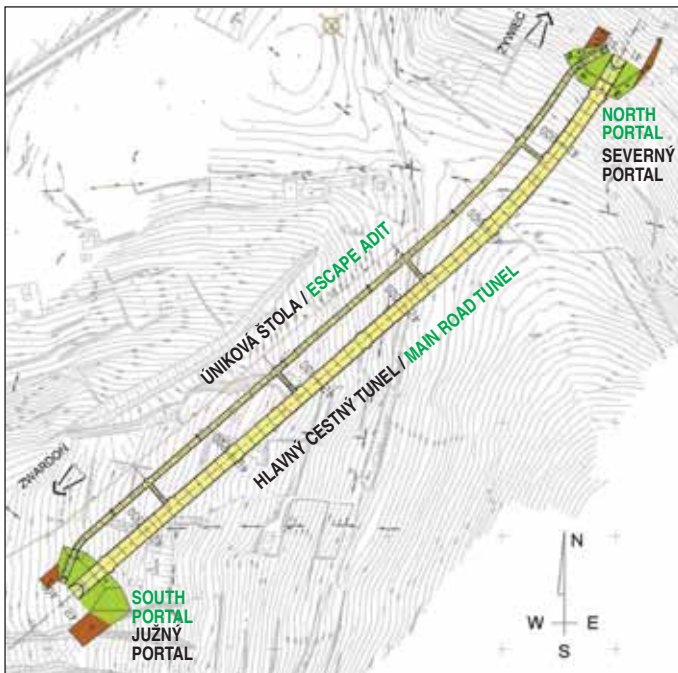
Technical data on the construction

Tunnel type:	single-tube, bi-directional
Roadway width geometry:	curb-to-curb width of 8.4m
Traffic lane width:	2 x 3.5m
Walkway width:	1.7m
Main tunnel length:	678m (mined tunnel 630m)
Escape gallery length:	678.49m (mined gallery 630.49m)
Height of the road tunnel clearance profile:	4.7m
Number and lengths of cross passages:	4; uniform length of 22m
Construction time:	11/2007 – 11/2009
Opening to traffic:	March 2010
Total investment cost of the C1 and C2 sections with the tunnel:	over 88 mil. euro

CHANGES IN THE TECHNICAL SOLUTION FOR THE TUNNEL

For the time being, Poland is missing sufficient legislation on designing tunnels. On the one hand, designers use foreign experience, mostly from German speaking countries; on the other hand, various requirements are incorporated in the design which are not typical for tunnels.

It is necessary to remember, first of all, the tunnel width configuration, where a hard shoulder originates at the curb-to-curb width of 8.4m and the traffic lane width of 3.5m. Another specific feature is the extreme width of walkways of 1.7m. We proposed during the planning stage that the width configuration be changed and, as a result, the width of the transition cross section be reduced. For example, compared with our tunnel category T8.0 and walkway width of 1.0m, the net tunnel width could be reduced by 1.8m. In addition, the spatial requirements affected the overall tunnel geometry, which is not too convenient in structural terms. If the geometry had been changed, it would have been possible to speak about significant savings in the construction cost.



Obr. 1 Situácia tunela
Fig. 1 Tunnel layout

a zníženie vzdialenosti šácht na 48 m, respektíve 60 m. V únikovej štólňi podľa zadávacej dokumentácie bol navrhovaný vodovod s hydrantmi, a naopak pri vchode do únikových ciest v tunelovej rúre hydrant chýbal. Navrhované zmeny z pohľadu investora a autorského dozoru neprichádzali do úvahy.

Boli však aj zmeny, ktoré sa podarilo presadiť. Počas realizácie primárneho ostenia bola doplnená vystrojovacia trieda s mikropilóťovým dáždnikom, kde v prípade nepresadenia zmeny by mohli nastať obrovské problémy. Podarilo sa presadiť aj zmena predpísaných požiadavok na striekané betóny a doplnenie požiadavky na počiatočné nárasty pevnosti striekaných betónov. Pri hlbých tuneloch sa musel zo statického hľadiska zmeniť tvar prierečného rezu tunela. Ďalšou akceptovanou zmenou bola zmena tvaru a vystuženia spodnej protiklenby a spôsob vystuženia hornej klenby sekundárneho ostenia. V sekundárnom ostení sa dalo na základe vykonaných statických výpočtov ušetriť na množstve výstuže a mohlo sa ušetriť aj na znížení pevnostnej triedy betónu.

INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ POMERY

Geologickú stavbu záujmového územia tvoria paleogénne flyšové vrstvy ílovcov a pieskocov. Ide o striedanie ílov, čiastočne vápenatých a pieskocov prevažne glaukonitických. V zóne zvetrania a tektonického porušenia mali charakter ílu, resp. sute kamenito-ílovitej a ílovito-kamenitej. Z vrstevnatých ílových minerálov obsahovali chlorit, illit, vzácné kaolinit.

Dominantnými odlučnými plochami v tomto horninovom prostredí boli vrstevné plochy diskontinuit, vytvárajúce spolu s vrstevnatosťou rozpad horninového masívu na doskovité a hranolovité úlomky a bloky.

Na základe inžinierskogeologických a geotechnických vlastností bolo možné vyčleniť nasledovné typy hornín:

- ílovce zvetrané doskovité, sivej až tmavosivej farby, vápnité (slieňovce), prevažne slabo až silno zvetrané, doskovitej vrstevnatosti, miestami slabo piesčité, na styku s vodou mali tendenciu rozpadáť sa čriepkovito;
- ílovce zvetrané laminované, boli prítomné v polohách doskovitých ílovcov. Zvetrané ílovce boli tvorené tenkolaminovanými ílovcami hnedej až tmavohnedej farby, na styku s vodou čriepkovito sa rozpadajúce, miestami až charakteru zeminy. Často boli tektonicky porušené, charakteru malých úlomkov a zeminy;
- pieskovce zvetrané, boli sivej až hnedosivej farby, prevažne slabo zvetrané, doskovitej až lavicovitej vrstevnatosti, jemnozrnné, vápnité.

Z hydrogeologického hľadiska v tuneli neboli výrazné prítoky podzemnej vody a voda prenikajúca do tunela závisela od množstva

During the course of the construction we submitted proposals for various possible changes in the tunnel design, corresponding to our customs, but they were mostly refused. The final design required the tunnel drainage to be from clayware pipes, with the distance between cleaning manholes of 75m or 150m. In this particular case we proposed that the material be changed and the distance between shafts be reduced to 48m or 60m. A water main with hydrants was required by the final design to be in the escape gallery, while a hydrant was missing at the entrance to escape routes in the tunnel tube. The proposed changes were out of the question from the client's and consulting engineer's supervisor's points of view.

Nevertheless, there were also changes which were successfully implemented. A new excavation support class was added during the work on the primary lining, comprising canopy tube pre-support. In this case serious problems could have been encountered if this proposal had not been approved. A change in the requirements for sprayed concrete and an addition of the requirement for the shotcrete early strength build-up were successfully pressed. As far as cut-and-cover tunnels are concerned, the cross-section geometry had to be changed as required by the structural analysis. Another change which was successfully implemented was a change in the geometry and reinforcement of the invert and the system of reinforcing the upper vault of the secondary lining. It was possible on the basis of the structural calculations which were carried out to reach savings in the amount of reinforcement and achieve other savings by reducing the concrete strength grade.

ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS

The geology in the area of operations consisted of Palaeogene, flysh layers of claystone and sandstone, namely alternation of clays, partly calcareous, and mostly glauconitic sandstone. In the weathering and faulting zone they had the character of clay or stony-clayey and clayey-stony debris. Of bedded clay-forming minerals, they contained chlorite, illite and rarely kaolinite. The bedding planes predominant in this ground environment were discontinuity bedding planes together with the bedding forming the disintegration of the rock mass into plates, rectangular fragments and blocks.

The following rock types were determined on the basis of the engineering geological and geotechnical properties:

Claystone – weathered, tabular, grey to dark-grey, calcareous (marlstone), mostly weakly to heavily weathered, tabularly bedded, locally weakly sandy, prone to disintegrating into small fragments on contact with water.

Claystone – weathered, laminated (it was present in the tabular claystone beds). The weathered claystone was formed by thinly laminated claystone, dark brown, disintegrating into small fragments on contact with water, locally even of the character of soil.

Weathered sandstone, grey to brown-grey, mostly weakly weathered, tabular to blanket bedding, finely grained, calcareous.

From the hydrogeological point of view, there were no significant inflows of ground water and water flowing into the tunnel depending on the amount of precipitation on the surface. Another factor affecting the ground mass condition was the process water which was used for flushing during drilling of boreholes for elements of the primary excavation support. The water degraded and changed properties of the rock mass.

In terms of the excavation procedure and rock mass stability, the following risk factors appeared to be the most important:

- percentage of the presence of laminated claystone,
- density of discontinuities and their direction compared with the direction of excavation,
- aperture and filling of discontinuities,
- presence of ground water,
- interaction and combination of the above-mentioned factors caused local, but also permanent, deterioration of the rock mass properties, overbreaks and instability of the face.

TUNNEL DESIGN SOLUTION

The tunnel was driven using the NATM, with the excavation support provided by two lining layers – the primary lining consisting of shotcrete and secondary lining in reinforced concrete. An intermediate waterproofing layer consisting of geotextile and a waterproofing membrane is installed between the primary and secondary linings. Five

zrážok na povrchu. Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňoval stav masívu, bola technologická voda, ktorá sa používala na výplach počas vrtania prvkov vystrojenia primárneho ostenia. Táto degradovala a menila vlastnosti horninového masívu.

Vzhľadom na postup razenia a stabilitu masívu ako najvýznamnejšie sa javili tieto rizikové faktory:

- percentuálne zastúpenie laminovaných flovcov,
- hustota diskontinuit a ich orientácia voči smeru razenia,
- otvorenosť a výplň diskontinuit,
- prítomnosť podzemnej vody,
- ich vzájomné spolupôsobenie a kombinácia spôsobovali lokálne ale aj permanentné zhoršenie vlastností masívu, vznik nadvýšlov a nestabilitu čelby.

PROJEKTOVÉ RIEŠENIE TUNELA

Tunel bol razený metódou NRTM so zabezpečením dvomi vrstvami ostení – primárne ostenie zo striekaného betónu a sekundárne ostenie zo železobetónu. Medzi primárnym a sekundárnym ostentím je medziľahlá hydroizolačná vrstva tvorená geotextíliou a hydroizolačnou fóliou. Razenie prebiehalo v 5 vystrojovacích triedach závislých na geologickej stavbe masívu. Razilo sa prevažne z južného portálu dovrchne. Objekt tunela sa skladá z hlavného cestného dvojpruhového tunela a únikovej štôľne, ktorá je prepojená s tunelom štyrmi priečnymi prepojkami. Trasa je vedená v oblúku a na priamy úsek je prepojená prechodnicou. Pozdĺžne vedenie vozovky tunela je v konštantnom sklone 4 %. Priečný sklon vozovky sa mení z 5,5% preklopením na 2% v závislosti na smerovom vedení.

Hlavná tunelová rúra

V tunelovej rúre sa nachádzajú výklenky pre SOS kabíny a hydranty. Výklenky sú umiestnené v mieste priečného prepojenia s únikovou štôľňou a v strede medzi priečnymi prepojeniami. Vzdialenosť medzi SOS kabínami je cca 75 m. SOS výklenky sú rozdelené na dve miestnosti. V jednej miestnosti sa nachádza požiarne hláska, v druhej je umiestnená rozvodňa elektrickej energie. Každá miestnosť má samostatný prístup z tunelovej rúry. Výklenky pre hydranty sú umiestnené v strede medzi priečnymi prepojeniami. Veľkosť výklenkov pre SOS kabíny a hydranty je totožná.

Úniková štôľňa

V únikovej štôľni je vybudovaný požiarne vodovod. Hydrantový výklenok je miestnený v miestach prepojenia s hlavnou tunelovou rúrou.

Priečne prepojenie

Hlavná tunelová rúra je s únikovou štôľňou prepojená štyrmi chodbami jednotnej dĺžky 22 m. Na požiarne oddelenie chránenej únikovej cesty a tunelovej rúry sú v priečnom prepojení dve železobetónové steny s osadenými jednokrídlovými dverami veľkosti 1,05x2,06 m. Vzdialenosť stien v priečnom prepojení je 2,5 m.

Hĺbené časti tunela

Hĺbené časti hlavného tunela a únikovej štôľne boli budované v portálových jamách. Úseky hĺbených tunelov sú založené na železobetónovej doske. Vnútorňý profil hornej klenby tunela je totožný s razenou časťou tunela.

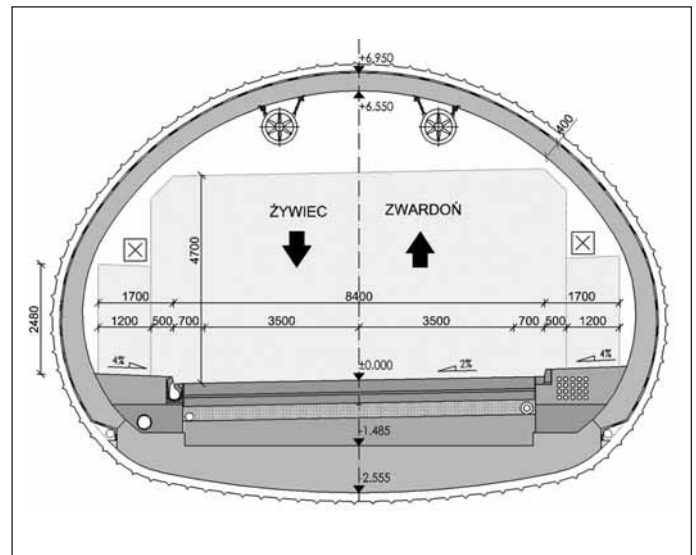
Prilahlé svahy a portálové steny boli zabezpečené striekaným betónom s vystužením ocelovými sieťami a s prikotvením pomocou samozávrtných kotiev Titan.

Počas odkopu boli osadzované v portálovej jame nivelačné body na sledovanie pohybov svahu pri hĺbení stavebnej jamy ako aj pri začatí razenia tunelov. Na severnom portáli, vzhľadom na zlú geologickú situáciu, bolo osadených aj niekoľko inklinometrov nad hornou hranou výkopu.

Zásyp tunela bol tvorený z materiálov vytážených z priestoru tunela. Vzhľadom na to, že išlo hlavne o súdržný materiál, boli v spätnom zásype vytvorené drenážne plochy zo štrkopiesku hrúbky 0,5 m so sklonom 2 %. Tieto plochy pomáhajú odvodňovať zásyp a tým ho aj stabilizovať. Obklad svahu tvoria gabiónové koše v sklone 1:1,5.

Primárne ostenie tunela

V prvej fáze bolo budované primárne ostenie cestného tunela a únikovej štôľne. Primárne ostenie tunela bolo budované podľa zásad NRTM.



Obr. 2 Vzorový priečný rez razeným tunelom

Fig. 2 Typical cross-section through the mined tunnel

excavation support classes were specified for the driving, depending on the geological structure of the rock mass being passed through by the tunnel. The majority of the excavation was carried up from the southern portal, on an uphill gradient. The tunnel structure comprises a double-lane road tunnel and an escape gallery, which is interconnected with the tunnel by four cross passages. The horizontal alignment is on a curve, which connects to the straight stretch by a transition curve. The vertical alignment of the road in the tunnel is at a uniform gradient of 4%. The transverse slope of the roadway is rotated from 5.5% to 2%, depending on the horizontal alignment.

The main tunnel tube

There are SOS cabins and hydrants in the tunnel tube. The niches are located at the mouths of the cross passages and in the middle, between the cross passages. The spacing of the SOS cabins is about 75m. The SOS cabins are divided into two rooms. The first room houses the emergency call station, while power switchgear is installed in the other room. Each room has its own, independent entrance from the tunnel tube.

Recesses for hydrants are located in the middle, between the cross passages.

Dimensions of the recesses for SOS cabins and for hydrants are identical.

Escape gallery

The hydrant line is installed in the escape gallery. The hydrant recess is located at the intersections with the main tunnel tube.

Cross passages

The main tunnel tube is interconnected with the escape gallery by four cross passages with the uniform lengths of 22m. Two reinforced concrete walls with one-leaf doors 1.05 x 2.06m are installed in the cross passages to provide fire separation of the escape route from the tunnel tube. The distance between the walls in cross passages is 2.5m.

Cut-and-Cover Sections of the Tunnel

The cut-and-cover sections of the main tunnel and the escape gallery were constructed in pre-portal trenches. The cut-and-cover tunnels are founded on reinforced concrete slabs. The internal profile of the upper vault of the tunnel is identical with the profile of the mined part of the tunnel.

The adjacent slopes and portal walls were stabilised by shotcrete and welded mesh and fixed with Titan self-drilling anchors to the rock mass.

Levelling points were installed in the pre-portal trench during the slope-cutting operations to monitor movements of the slope both during the trench cutting and at the beginning of the tunnel excavation. In addition, several inclinometers were installed above the upper edge of the trench at the northern portal, taking into consideration the geological conditions.



Obr. 3 Južný portál – realizácia hlbeného tunela
Fig. 3 Southern portal – cut-and-cover tunnel construction

Výlomové práce sa realizovali len mechanickým rozpojovaním horniny. V prípade výskytu väčšieho zastúpenia pieskovca v čelbe by boli vhodnejšie trhacie práce, tie však neboli povolené, takže dodávateľ stavby bol tak odkázaný len na mechanické rozpojovanie horniny.

V projektovej dokumentácii pre zhotoviteľa stavby bolo na razenie cestného tunela navrhnutých 5 typov vystrojovacích tried. Oproti zadávacej dokumentácii poskytnutej dodávateľovi stavby bola doplnená vystrojovacia trieda 4s. V nej prebiehalo razenie pod ochranou mikropilótových dáždnikov. Vystrojovacia trieda 4s bola navrhnutá pre portálové oblasti, úvodné úseky razenia a do poruchových zón. Ostatné vystrojovacie triedy boli upravené oproti predchádzajúcemu projektu z hľadiska technologických možností dodávateľa stavby a boli modifikované počas razenia s ohľadom na skutočne zastihnutú geologickú situáciu na trase tunela.

Na razenie únikovej štólne boli navrhnuté štyri vystrojovacie triedy. Opäť bola pridaná ďalšia vystrojovacia trieda, v ktorej sa počítalo s ochranou pod dáždnikom vytvoreným z troch radov samozávrtných svorníkov. Táto vystrojovacia trieda nakoniec nebola použitá.

Primárne ostenie predstavuje striekaný betón C20/25 vystužený oceľovou sieťou a priehradovými nosníkmi z ocele triedy Bst500S. Hrúbka ostenia sa menila od 180 mm až do 300 mm. Výrubová plocha hlavného tunela sa pohybovala v rozpätí 109–120 m². Na radiálne kotenie tunela sa použili v prevažnej miere samozávrtné svorníky. V projekte pre dodávateľa stavby bolo uvažované aj s použitím maltovaných a hydraulicky rozpínaných svorníkov.

Tunel a úniková štólňa sa razili v prevažnej miere od južného portálu dovrchne so stúpaním 4 %.

Projektom stanovené deformácie primárneho ostenia sa v prevažnej miere naplnili. Počas razenia nedošlo z výraznejším výnimočným



Obr. 4 Realizácia primárneho ostenia hlavného tunela
Fig. 4 Installation of the primary support of the main tunnel excavation

The tunnel backfill consisted of the muck obtained from the tunnel. Drainage layers 0.5m thick, inclining at 2%, were created in the backfill because of the fact that the muck was mostly cohesive. These layers help to evacuate water from the backfill, thus also to stabilise it. The slope is covered with gabions at the gradient of 1 : 1.5.

Primary Lining of the Tunnel

During the first phase, the road tunnel and the escape gallery were provided with a primary support. The primary support of the tunnel was carried out using the New Austrian Tunnelling Method.

The excavation was performed only by mechanically disintegrating the rock mass. It would have been reasonable to use also the drill and blast technique in a case of a larger extent of presence of sandstone at the face, but this technique was not approved, therefore the contractor had to break rock mechanically.

The detailed design specified 5 excavation support classes. Compared with the final design which was handed over to the contractor, class 4s was added in the detailed design. This class required the use of canopy tube pre-support. Class 4s was proposed for portal areas, initial sections of the excavation and fault zones. The other excavation support classes were adjusted compared with the original design, taking into consideration technological abilities of the contractor, and were modified during the course of the work with respect to the actual geological conditions encountered during the course of the tunnel excavation.

Four excavation support classes were designed for the gallery excavation. Again, one excavation support class was added, requiring a canopy pre-support consisting of three tiers of self-drilling bolts. This class eventually remained unused.

The primary lining consisted of C20/25 shotcrete, welded mesh and lattice girders from Bst5005 grade steel. The lining thickness varied from 180mm to 300mm. The excavated cross-sectional area ranged from 109 to 120m². Radial anchoring of the excavation was carried out mostly by means of self-drilling rock bolts. The final design even expected the use of grouted bolts and hydraulically expanded bolts.

The major part of the road tunnel and the escape gallery was driven from the southern portal, on the uphill gradient of 4%.

The prediction of the primary lining deformations which was contained in the design was mostly fulfilled. No more significant exceptional states delaying the completion of the construction took place during the excavation. In the northern portal area, the portal wall cracked at the beginning of the excavation and great deformations of the completed part of the top heading of the main tunnel developed. In this location, the contractor had first to finish the overall stabilisation of the slope, including additional support measures required by the situation which had developed. When the stabilisation was completed, the tunnel excavation could proceed. The thickness of the primary lining was increased and the excavation was carried out under the protection of canopy tube pre-support, quickly closing the whole tunnel profile. The contractor managed to meet the deadline for the works completion, despite this delay.

Technical specifications for sprayed concrete

Requirements for sprayed concrete were prescribed by technical specifications which were contained in the tender documents.

The sprayed concrete had to be suitable for applying in several layers. The thickness of layers was not to be greater than 150mm and smaller than 70mm. Shotcrete was required to have good bond to the substrate or previous shotcrete layers, to be without rebound and to encase well the reinforcement, without falling off. In addition, it was to meet the following requirements:

- the grain size was not allowed to exceed 4mm,
- the minimum grade of B25 (C20/25) was required for sprayed concrete,
- resistance to being torn off the substrate (bond strength) after freeze-thaw tests > 1.5 MPa,
- frost resistance testing using a 2% salt solution, applying 300 freeze-thaw cycles; loss in mass < 5%,
- water retaining concrete was required, with the maximum permissible water penetration depth up to 30mm.

Cement CEM I 42.5 N – HSR/NA was prescribed for sprayed concrete. But this cement is not suitable for using in sprayed concretes and

stavom, ktoré by oddialili ukončenie stavby. V oblasti severného portálu pri začiatku razenia došlo k prasknutiu portálovej steny a veľkej deformácii už vyrazenej kaloty hlavného tunela. Tu musel dodávateľ najskôr ukončiť celkovú stabilizáciu svahu vrátane dodatočného zabezpečenia, ktoré si vyžiadala vzniknutá situácia. Po zastabilizovaní sa pokračovalo v razení tunela. Primárne ostenie bolo zosilnené arazilo sa výhradne pod mikropilótoým dáždnikom s rýchlym uzatváraním celého profilu tunela. Aj napriek tomuto zdržaniu dodávateľ splnil stanovený termín dokončenia stavby.

Technická špecifikácia striekaného betónu

Požiadavky na striekaný betón boli predpísané technickou špecifikáciou, ktorá bola súčasťou zadávacej dokumentácie stavby.

Striekaný betón mal byť vhodný na nanášanie vo viacerých vrstvách. Hrúbka vrstiev nemala byť väčšia ako 150 mm a menšia ako 70 mm, s dobrým prilnutím k podkladu alebo predchádzajúcim vrstvám striekaného betónu, s dobrým upevnením výstuže v betóne a bez odpadávania. Ďalej striekaný betón mal spĺňať nasledujúce požiadavky:

- kamenivo nesmelo byť väčšie ako 4 mm,
- striekaný betón musel zodpovedať minimálnej triede B25 (C20/25),
- odolnosť voči odtrhávaniu od podkladu po vykonaní mrazuvzdorných testov > 1,5 MPa,
- mrazuvzdornosť testovaná v 2% roztoku soli v 300 cykloch, úbytok hmotnosti < 5%,
- betón musel byť vodonepriepustný s maximálnou prípustnou hĺbkou preniku vody do 30 mm.

Do striekaného betónu bol predpísaný cement CEM I 42.5 N – HSR/NA. Tento cement však nie je vhodný na použitie do striekaných betónov, preto musel byť nahradený cementom CEM I 42.5 R, ktorý sa dovážal zo Slovenska. Tento cement už spĺňal všetky požadované vlastnosti: reaktivitu, jemnosť mletia a stálosť.

Technická špecifikácia vôbec neurčovala nábehové pevnosti betónu, a preto boli do projektu dodávateľa stavby dodatočne doplnené.

Ďalšou presadenou zmenou oproti zadávaciemu projektu bolo doplnenie frakcie kameniva 4–8. Ostatné požiadavky technickej špecifikácie boli splnené. Podarilo sa tiež preukázať splnenie požiadavky na mrazuvzdornosť 300 cyklov, ktorá bola prehnaná. Primárne ostenie považujeme za dočasnú konštrukciu a po vybudovaní sekundárneho ostenia je dostatočne chránené aj proti týmto vplyvom.

Dodávaný betón na stavbu spĺňal projektom predpísanú kvalitu. Udržanie konzistencie v požadovanom čase bolo zabezpečené prísadou do betónu – superplastifikátorom Delvocrete T. Prísada umožnila predĺžiť dobu spracovateľnosti betónu až na 10 hodín. Počas celej stavby nebol zaznamenaný jediný prípad poklesu počiatočných nábehových pevností betónu. Priemerné dávkovanie urýchľovacích prísad Meyco SA 180 za celý čas stavby bolo 5,85 %.

Geotechnický monitoring počas razenia tunela

Počas razenia tunela prebiehal geotechnický monitoring a jeho výsledky boli pravidelne aktualizované a prístupné pre účastníkov on-line cez internet. Zástupcovia jednotlivých zainteresovaných organizácií investor, stavebný dozor, zhotoviteľ stavby a projektanti tak mali možnosť rýchleho prístupu ku všetkým informáciám z jednotlivých meraní počas realizácie stavby.

Činnosti monitorovania, ktoré boli vykonávané počas razenia tunela, boli nasledovné:

- 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,
- meranie deformácií v zóne vplyvu výrubu a sledovanie stability svahu – inklinometrické merania vo vrtoch,
- meranie stupňa rozvoľnenia horniny v okolí výrubu – extenzometrické merania z povrchu,
- meranie napätí na kontakte horniny a primárneho ostenia s použitím tlakomerných krabíc,
- meranie napätí v betóne primárneho ostenia,
- inžinierskogeologické sledovanie razenia, vrátane hydromonitoringu, systematická kontrola a dozor v priebehu razenia,
- sledovanie skutočného výrubu a nadvýlomov.

Rozmiestnenie a počet meracích profilov a bodov bolo navrhnuté podľa predpokladaných inžinierskogeologických pomerov.

had to be replaced by cement CEM I 42.5 R, which was imported from Slovakia. This cement met all requirements for properties: reactivity, fineness of grinding and volume stability.

Technical specifications failed to mention concrete strength development rates. For that reason the rates were added to the design by the contractor.

Another change which was made compared with the final design was the addition of the aggregate fraction 4/8. The other requirements of the technical specifications were met. Even the requirement for the 300-cycle frost resistance, which was in our opinion exaggerated, was complied with. We consider the primary lining to be a temporary structure, which will be sufficiently protected against these effects once the secondary lining is completed.

The concrete which was supplied to the site met quality requirements specified in the design. Requirements for maintaining the consistency during the specified time were ensured by applying Delvocrete T super-plasticising additive. This additive made extending of the time during which concrete remains workable up to 10 hours possible. No event of decreased rate of early strength development was registered during the construction. The average dosage of Meyco SA 180 accelerator additive was 5.85 per cent throughout the construction time.

Geotechnical monitoring during the tunnel excavation

Geotechnical monitoring continued during the tunnel excavation operations. Its results, which were available for all parties on-line through the Internet, were regularly updated. All information on particular measurements was available during the construction for representatives of individual participating organisations, i.e. the client, client's supervision engineer, contractor and designer. The monitoring comprised the following activities during the tunnel excavation:

- measuring surface deformations; development of settlement trough in the transverse direction and monitoring deformations of portal walls by means of levelling points stabilised on the terrain surface,
- measuring deformations of the excavated opening,
- measuring deformations in the zone affected by the excavation and observing the slope stability – inclinometer measurements in boreholes,
- measuring the degree of loosening of ground mass in the excavation surroundings – extensometer measurements from the surface,
- measuring stress at the interface between rock mass and the primary lining, using pressure cells,
- measuring stress in primary lining concrete,
- engineering geological monitoring of the excavation including hydromonitoring, system checking and surveillance during the excavation,
- observing the actual excavation contour and overbreaks.

Locations and the number of measurement stations were designed in accordance with the predicted engineering geological conditions.

Results of the geotechnical monitoring provided a basis for optimising the primary support, reassessing the use of individual excavation support classes and, if required, implementing the measures designed to improve safety at work during the tunnel excavation.

Tunnel Waterproofing

Protection of the mined and cut-and-cover tunnels against water seeping from the rock mass in the upper vault area is provided by a waterproofing membrane, which is fixed to the surface of the primary lining. In the cut-and-cover sections, the membrane is applied to the final concrete surface. Originally the waterproofing membrane protection was designed to be provided by shotcrete reinforced with steel mesh. In the detailed design, the membrane is protected by PE mats. When installing the waterproofing system, it is important to install the protection very quickly so that the cut-and-cover tunnels can be backfilled immediately.

The waterproofing system consists of a minimum 500g/m² protective and drainage geotextile and a 2mm thick waterproofing membrane. Seeping water is diverted through the geotextile, which is fixed directly to the surface of the primary lining, to



Obr. 5 Realizácia plošnej hydroizolácie a výstuže v únikovej štólňi
Fig. 5 Installation of the waterproofing system and reinforcement in the escape gallery

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

Hydroizolácia tunela

Ochrana razených a hĺbených tunelov pred vodou prenikajúcou z horninového masívu je v oblasti hornej klenby zabezpečená plošnou hydroizoláciou upevňovanou na povrch primárneho ostenia. V hĺbených častiach tunela je hydroizolácia ukladaná na definitívny betón. Pôvodne bola ochrana hydroizolácie navrhnutá striekaným betónom s vystužením oceľovými sieťami. V projekte pre zhotoviteľa sa použila ochrana izolácie z PE rohoží. Pri realizácii ide o veľmi rýchle vytvorenie ochrany izolácie s možným okamžitým realizovaním spätného zásypu hĺbených tunelov.

Plošná hydroizolácia je tvorená vrstvou ochrannej a drenážnej geotextílie minimálnej hmotnosti 500g/m² a hydroizolačnej fólie hrúbky 2 mm. Presakujúca voda je zvádzaná prostredníctvom geotextílie umiestnenej priamo na povrchu primárneho ostenia do pozdĺžneho drenážneho odvodnenia v pätách sekundárneho ostenia. Pozdĺžne drenážne potrubie je vytvorené z kameninovej drenážnej rúry DN 200 obsypanej filtračným betónom.

V únikovej štólňi v hĺbenej a razenej časti a v priečných prepojeniach je izolovaný celý profil štólne.

Sekundárne ostenie tunela

Definitívne ostenie tunelových objektov sa realizovalo zo železobetónu ukladaného do posuvného debnenia. Dĺžka bloku betonáže definitívneho ostenia bola 12 m, resp. 6 m.

Ako debnenie na definitívne ostenie cestného tunela hornej klenby slúžil pojazdný debniaci voz dĺžky 12 m. Betonáž definitívneho ostenia sa mohla začať vykonávať, keď rýchlosť deformácií primárneho ostenia klesla pod hodnotu 1 mm za mesiac.

Sekundárne ostenie tunela bolo rozdelené pracovnou škárou na hornú a spodnú klenbu. Tunel bol navrhnutý v celej dĺžke so spodnou klenbou.

Konštrukcia sekundárneho ostenia sa nesmela oddebnit' skôr, ako sa dosiahla dostatočná pevnosť betónu, ktorá zaručila prenesenie najnepriaznivejšieho možného zaťaženia bez toho, aby vznikli škody. V projekte pre dodávateľa stavby bola stanovená minimálna oddebnovacia pevnosť betónu 5 MPa. Prípustná geometrická odchýlka vnútorného povrchu definitívneho ostenia bola stanovená na +/- 40 mm. Minimálne krytie výstuže pre definitívne ostenie tunelov bolo 50 mm.

Sekundárne ostenie je z betónu triedy C40/50 s vystužením oceľovou výstužou triedy Bst 500S. Oceľová výstuž je tvorená z oceľových sietí a prídavných prútov profilov Ø 8, 12 a 16 mm. Ako požiarová ochrana sekundárneho ostenia bola navrhnutá v krycej vrstve betónu z vnútornej strany tunela oceľová pozinkovaná sieť 8/100x8/100. Táto oceľová sieť neplnila v priereze ostenia statickú funkciu.

Samonosnosť výstuže sekundárneho ostenia pred betonážou zabezpečovali pomocné oceľové nosníky tvorené štyrmi prútmi priemerov 20 mm pre hlavný tunel a 16 mm pre únikovú štólňu a priečne prepojenia.

a longitudinal drain located at the foot of the secondary lining. DN 200mm clayware pipes are designed for the longitudinal drainage to be embedded in porous concrete.

The cut-and-cover and mined sections of the escape gallery and the cross passages have the whole cross-section covered with the waterproofing membrane.

Secondary Tunnel Lining

The final lining of the tunnel structures was constructed in reinforced concrete, which was cast behind a travelling form. The casting blocks of the final lining were 12m or 6m long.

A 12m long travelling form was used for casting of the upper vault of the final lining of the road tunnel. The casting of the final lining was allowed to commence when the rate of deformation of the primary lining dropped under 1mm per month.

The secondary lining of the tunnel was divided into the upper vault and the invert by a construction joint. The invert was designed for the whole tunnel length.

The formwork of the secondary lining structure was stripped when a sufficient strength of concrete had been achieved, guaranteeing that even the most unfavourable loading would be carried without damage. The detailed design set the minimum stripping strength of concrete at 5MPa. The permissible geometrical deviation of the internal contour of the final lining was set at +/- 40mm. The minimum concrete cover over the final lining reinforcement was 50mm.

The secondary lining is in C40/50 concrete reinforced with Bst 500S grade steel bars. The steel reinforcement consists of steel mesh and additional 8, 12 and 16mm diameter bars. Galvanised mesh 8/100x8/100mm embedded in the cover course was designed for fire protection of the inner surface of the secondary lining. This steel mesh did not fulfil a structural function in the cross section of the lining.

The self-supporting capacity of the secondary lining reinforcement before concrete casting was provided by additional lattice girders consisting of four 20mm-diameter bars and four 16mm-diameter bars in the escape gallery and a cross passage, respectively.

Concrete specifications

The final design set the following concrete grades to be used, which had to be used even in the detailed design:

C 40/50 XF4	the mined tunnel and cut-and-cover tunnel secondary lining
C 35/45 XC4 XD3 XF1	concrete walkways in the tunnel
C 16/20 XO, XC1	concrete bed and infill concrete

The following properties were prescribed by the technical specifications:

- The use of CEM I 42,5 N – HSR/NA cement
- Maximum cement content of 450 kg/m³
- Entrained air content should not exceed 2% in the case of using an air-entraining agent
- Concrete mix consistency should not be lower than the plastic consistency marked in the PN-88/B-06250 standard by a symbol K-3 (S3)
- Maximum aggregate fraction 8/16

The greatest problems were caused by the concrete mix consistency which was prescribed by the design. For that reason also S4 consistency was submitted for approval. This consistency was tested with the conclusion that it was easy to pump (without pumping impulses), water flowing on the bottom of the invert did not cause the segregation of the concrete, energy of the concrete was sufficient and there was no need for using immersion vibrators to great extent during concrete casting. Nevertheless, despite the fact that these quality advantages had been proved, the client's supervision insisted that S3 consistency of concrete mix be preserved.

Road Pavement and Walkways in the Tunnel

The walkways are placed on the tunnel invert. They are formed by concrete which is divided into a bed and a reinforced upper part. The walkway bed is in C16/20 concrete. The upper part is in C35/45 concrete reinforced with steel mesh.

There are casing pipes for tunnel equipment, tunnel drainage and manholes embedded in the walkway.

Technická špecifikácia betónu

V zadávacom projekte boli stanovené triedy betónov, s ktorými bolo potrebné uvažovať aj v projekte pre dodávateľa stavby:

C 40/50 XF4 razený a hĺbený tunel – sekundárne ostenie

C 35/45 XC4 XD3 XF1 betón chodníka v tuneli

C 16/20 X0, XC1 podkladná a výplňové vrstvy

Predpísané vlastnosti technickými špecifikáciami boli:

- použitie cementu CEM I 42,5 N – HSR/NA,
- maximálne množstvo cementu 450 kg/m³,
- obsah vzduchu v betónovej zmesi, by nemal presahovať hodnotu 2 % – v prípade použitia prevzdušňujúcich prímiesí,
- konzistencia betónových zmesí by nemala byť redšia od plastickej, označenej v norme PN-88/B-06250 symbolom K-3 (S3),
- maximálna frakcia kameniva 8-16.

Najväčšie problémy spôsobovala konzistencia betónovej zmesi predpísaná projektom, preto bola na schválenie predložená aj konzistencia S4. Táto konzistencia bola skúšaná a preukázala ľahkú čerpatelnosť (žiadne veľké rázy čerpadla), pretekajúca voda na dne spodnej klenby nerozdeľovala betón, energia betónu bola dostatočná a nebolo potrebné pri ukladaní betónovej zmesi vo veľkom množstve používať ponorné vibrátory. Dozor stavby, napriek preukázaniu týchto kvalitatívnych predností, trval na zachovaní konzistencie betónových zmesí S3.

Vozovka a chodníky v tuneli

Chodníky sú položené na spodnej klenbe tunela. Sú z betónu rozdeleného na podkladnú časť a na vystuženú hornú časť. Spodná podkladná časť chodníka je z betónu triedy C16/20. Vo vrchnej časti sa použil betón C35/45, vystužený ocelovými sieťami.

V chodníku sa nachádzajú chráničky na technologické vybavenie tunela, kanalizácia tunela a technologické šachty.

Pod cementobetónovou vozovkou je vytvorená podkladná a drenážna vrstva vozovky. Výplň dna tunela spodnej klenby je z betónu triedy C16/20 vystuženého ocelovými sieťami.

Odvodnenie tunela

Odvodnenie tunela je rozdelené na odvodnenie horninovej a odvodnenie povrchovej vody v tuneli.

Odvod drenážnych vôd

Odvodnenie horninových vôd je riešené len v hlavnej tunelovej rúre. Úniková štôlna a priečne prepojenia sú izolované po celom obvode.

Na odvodnenie boli technickými špecifikáciami stavby predpísané rúry z kameniny s obsypom zo štrku (obsyp bol zmenený na filtračný betón). Pri drenážnych rúrach sa požadovalo vnútro rúry hladké a rúra musela byť s dostatočnou perforáciou po obvode. Vnútorý priemer rúr bol 200 mm a dĺžka rúry 1 m. Spojie rúr bolo potrebné z hľadiska priestorových nárokov realizovať bez prírub. Odporúčením projektanta bolo, aby spoje zohľadňovali pracovné škáry blokov sekundárneho ostenia vzhľadom k možným pohybom medzi nimi.

Čistiace šachty drenážneho odvodnenia sú zriaďované vo výklenkoch sekundárneho ostenia spoločne s SOS kabínami a hydrantom. Poklapy na šachtách museli zabezpečiť ochranu pred vnikaním znečistenej vody do drenážneho odvodnenia. Drenážne odvodnenie prebieha bez priečného prepojenia do kanalizácie, t.j. voda z celej dĺžky tunela je zvedená jednou rúrou na južný portál, kde pokračuje do recipienta.

Odvod povrchovej vody z tunela

Povrchová voda je odvádzaná z vozovky štrbinovými žlabmi. V oblasti smerového oblúka (priečný sklon vozovky 5,5 %) od severného portálu je voda zo štrbinových žlabov zvádzaná do sifónových šacht a ďalej je vedená potrubím pod štrbinovým žlabom DN 250 mm. V prechodnici sa mení priečný sklon na opačný a z tohto dôvodu prechádza odvodnenie na druhú stranu tunela. V tejto časti je tunel smerovo vedený v priamej línii s priečnym sklonom vozovky 2 %. Pod chodníkom je zabudované samostatné odvodnenie z rúr DN 300mm s kanalizačnými šachtami. Voda zo sifónov štrbinového odvodnenia je zvedená do kanalizačnej šachty a ďalej pokračuje potrubím DN 300 mm.

Rúry na odvodnení sú z glazúrovaných kameninových rúr typu Inliner. Štrbinové žlaby a sifónové šachty sú z polymérbetónu.

Z drenážnej vrstvy pod vozovkou je voda zvedená drenážnym potrubím DN 200 mm do kanalizačných šacht.



Obr. 6 Betonáž sekundárneho ostenia tunela
Fig. 6 Casting of the secondary tunnel lining

A bedding and drainage course is under the concrete pavement. The invert bottom is filled with C16/20 concrete reinforced with steel mesh.

Tunnel Drainage

The tunnel drainage system is divided into the rock mass drainage and surface water drainage in the tunnel.

Drainage water removal

Removing of drainage water is solved only for the main tunnel tube. The escape gallery and cross passages are provided with the waterproofing around the full circumference.

Gravel-packed stoneware pipes were prescribed for the drainage by the specifications (the gravel packing was later switched to porous concrete). A smooth inner surface of the drainage pipes was required and the pipe had to have sufficient perforation on the circumference. The inner diameter and length of the pipes were 200mm and 1m respectively. Because of constrained space conditions, the joints between the pipes had to be without sockets/flanges. In addition, the designer recommended that the construction joints between the secondary lining blocks be allowed for, with respect to the possibility of movements between them.

Drainage cleaning manholes are built in recesses in the secondary lining, together with SOS cabins and hydrants. Manhole covers had to ensure protection against intrusion of polluted water into the drainage system. The drainage is not connected by transverse lines to the sewerage. Water collected from the whole tunnel length



Obr. 7 Betonáž chodníkov tunela
Fig. 7 Casting of tunnel walkways



Obr. 8 Pohľad na hotové sekundárne ostenie tunela
Fig. 8 View of the completed secondary tunnel lining

Požiarneho vodovodu

Požiarneho vodovodu v tuneli bol naprojektovaný z tvárnej liatiny triedy K9 s izoláciou proti premŕzaniu z rúr DN 150 mm a DN 80 mm. Vnútorňa výstelka rúry je cementová a obal rúry je z pozinkovaného plechu. Rúry na stavbu boli privezené už s izoláciou. Počas nízkych teplôt je uvažované s cirkuláciou vody v celom systéme požiarneho vodovodu.

Požiarneho vodovodu má dve vetvy. Jedna vetva je v hlavnej tunelovej rúre, druhá v únikovej štólňi. Celkovo je v hlavnom tuneli 5 hydrantových výklenkov, v únikovej štólňi sú 4 a po jednom hydrante sú vybavené portálové oblasti. Hydranty sú z nehrdzavejúcej ocele DN 80.

Požiarneho vodovodu je napojený priamo na vodovodné potrubie v tejto oblasti a to z oboch strán tunela.

Na južnom portáli bola navrhnutá a vybudovaná vypúšťacia šachta slúžiaca na vypustenie celého systému vodovodu v prípade opravy, revízie a počas nízkych teplôt pri potrebe cirkulácie vody v potrubí. Vypúšťanie je napojené na kanalizáciu v najnižšom bode v oblasti južného portálu.

Technologické vybavenie tunela

Technologické vybavenie tunela predstavuje vetranie, osvetlenie, ozvučenie, videodohľad, elektronický požiarneho systém, centrálny riadiaci systém, telefón, SOS kabíny a rádio.

V portálových oblastiach sa nachádzajú technologické domčeky. Na severnom portáli je vytvorené pracovisko pre obsluhu tunela. Po dobudovaní ďalších tunelov na trase bude vytvorené jedno centrálné pracovisko obsluhy.

ZÁVER

V projekte pre dodávateľa stavby bola zadávacia dokumentácia doplnená a rozpracovaná. Pri spracovávaní dokumentácie sa prihliadalo na technologické možnosti zhotoviteľa stavby.

V niektorých prípadoch bolo potrebné prepracovať technológiu výstavby a zmeniť technické špecifikácie stavby stanovené v zadávacom projekte.

Stavebná a technologická časť stavby bola ukončená v novembri 2009 a tunel bol uvedený do prevádzky začiatkom marca 2010.

V Poľsku je tento tunel označovaný ako „prvý cestný razený tunel“ a mal by odštartovať výstavbu ďalších cestných tunelov, ktoré sú v súčasnosti v štádiu projektového riešenia.

ING. RÓBERT ZWILLING, *rzw@bhb.sk*,
BASLER&HOFMANN SLOVAKIA, s. r. o.
ING. JOZEF BARTOŠ, *jozef.bartos@doprastav.sk*,
DOPRASTAV, a. s.

Recenzoval: Ing. Miloslav Frankovský

flows through a single pipeline to the southern portal, from which it continues to a recipient.

Evacuation of surface water from the tunnel

Surface water is evacuated from the pavement through slotted drainage ducts. In the area of the horizontal curve (the transverse pavement slope of 5.5%) from the northern portal, water from the slotted ducts is diverted to inverted siphon shafts to continue through a DN 250mm pipeline under the slotted drainage duct. The transverse slope changes to the opposite slope along the transition curve. For that reason the drainage traverses to the opposite side of the tunnel. In this section the horizontal alignment of the tunnel is straight, with the pavement cross fall of 2.0%. A separate drain formed by DN 300mm pipes with manholes is under the walkway. Water from siphons on the slotted drainage duct flows to a sewerage manhole and continues through a DN 300mm pipeline.

The vitrified-clay drainage pipes are of the Inliner socket-less type. The slotted drainage ducts and siphon shafts are made of polymer concrete.

Water from the drainage layer under the pavement is collected by a DN 200mm drain and diverted to sewerage manholes.

Hydrant Line

The tunnel hydrant line was designed to be from DN 150mm and DN 80mm, K9 ductile iron pipes, insulated against freezing. The pipes are provided with cement inner lining and galvanised sheet casing. The pipes which were transported to site had been provided by the insulation in advance. Water circulation within the whole hydrant line system is designed for low temperature periods.

The hydrant line has two branches. One branch is in the main tunnel tube, whilst the other branch runs through the escape gallery. There are five hydrant niches in total in the main tunnel and four hydrants in the escape gallery; one hydrant is in each portal area. The DN 80mm hydrants are in stainless steel.

The hydrant line is directly connected from both sides to a water main existing in the area.

A discharge shaft is designed and constructed at the southern portal for discharging of water from the whole water distribution system in the case of a repair, inspection or during low temperatures, when the water circulation in the pipeline is necessary. The discharge is connected to the sewerage in the lowest spot, in the southern portal area.

Tunnel Equipment

The tunnel equipment comprises ventilation, lighting, public address, video surveillance, fire alarm and detection system, central control system, telephone, SOS cabins and radio communication system.

Service buildings are found in the portal areas. A facility for tunnel operators is located at the northern portal. When other tunnels are completed on the route, one central workplace for operators will be established.

CONCLUSION

The design solutions were added and adjusted in the detailed design. The technological capacity of the contractor was also allowed for when working on the design.

In several cases it was necessary to redesign the construction technology and change the technical specifications set out in the final design.

The civil works and installation of tunnel equipment were completed in November 2009 and the tunnel was opened to traffic at the beginning of March 2010.

This tunnel is referred to as "the first mined road tunnel" in Poland. It should start off the development of other road tunnels, which are currently in the designing stage.

ING. RÓBERT ZWILLING, *rzw@bhb.sk*,
BASLER&HOFMANN SLOVAKIA, s. r. o.
ING. JOZEF BARTOŠ, *jozef.bartos@doprastav.sk*,
DOPRASTAV, a. s.