

SVETI MARKO – PRVNÍ CHORVATSKÝ DÁLNIČNÍ TUNEL RAŽENÝ NRTM

SVETI MARKO – THE FIRST CROATIAN HIGHWAY TUNNEL DRIVEN BY THE NATM

Ing. ROMAN ŠABATA, ILF CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

ÚVOD

Po rozpadu bývalé Jugoslávie se v ekonomicky nejvyspělejších nástupnických státech Slovinsku a Chorvatsku začaly investovat značné prostředky do vybudování moderní dopravní infrastruktury. To bylo vyvoláno změnou hlavních dopravních směrů, způsobenou jednak vznikem nových státních celků a zároveň díky poloze v sousedství Evropské unie, se kterou tyto země nejvíce obchodují. Preferována je výstavba dálnic, neboť stávající dálniční síť není schopna pojmout silně vzrůstající objem zejména silniční dopravy. Díky hornatému terénu lemujícímu Jadranské pobřeží je zároveň třeba vybudovat celou řadu tunelů. Prvním z nich na území Chorvatska je tunel Sveti Marko, který se nachází na dálnici Záhřeb – Rijeka, asi 15 km západně od města Karlovac.

VŠEOBECNĚ

Tunel je dlouhý 290 m, sestává ze dvou oddělených tunelových trub osově vzdálených 30 m, ve kterých jsou vždy dva jízdní pruhy. Směrově je trasa vedena převážně v přímé, pouze v portálových oblastech přechází do přechodnicových oblouků. Výškově probíhají obě trouby ve vrcholovém oblouku o poloměru 25 000 m, což přineslo jisté komplikace při řešení odvodnění. Příčný sklon vozovky je 2,5 %. Pikantností tohoto tunelu je skutečnost, že podchází hřbitov obce Bezjakovo Brdo včetně obřadní síně. Převážná část délky obou trub byla vybudována hornickým způsobem, nadloží se pohybovalo od 2 m do 22 m. Portálové bloky a 36 m délky západní roury byly vybudovány v otevřené jámě. Vzhledem k malé délce tunelu nebyly nutné žádné propojky ani tunelový vodovod s hydranty a tunel není nuceně větrán.

GEOLOGICKÉ POMĚRY A VOLBA TUNELOVACÍ METODY

Horninový masiv byl tvořen klastickými a karbonátovými sedimenty spodního triasu, překrytými kvarténními pokrývnými útvary. Klastické sedimenty představovala pestrá série písčitých dolomitů, hlinitých slínů a jílovitých břidlic. Karbonátové sedimenty v jejich podloží tvořily převážně vrstvy dolomitů a pískovců. Hladina podzemní vody se nacházela pod úrovní spodní klenby tunelu. Horniny skalního podloží byly silně zvětralé a jejich mocnost v nadloží tunelu byla do 17 m. Modul deformace se pohyboval kolem 80 Mpa, Poissonovo číslo kolem 0,3, koheze byla 50 kPa a úhel vnitřního tření 25°. U kvarténních pokrývků byly parametry ještě horší. Šířka výrubu jedné tunelové roury byla 11 m. Tunel byl vyražen novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Celá ražená část byla kvůli výše uvedeným parametrům horninového masivu zajištěna kromě standardního vystrojení NRTM také předstihovými injektážními deštníky. Na rozdíl od ražby ve skalních nebo



Obr. 1 Pohled na stavební jámu severních portálů a hloubeného úseku
Fig. 1 A view of the construction pit for the north portals and the cut-and-cover section

INTRODUCTION

Considerable investments in development of a modern traffic infrastructure started after the disintegration of former Yugoslavia in economically most advanced succession states of Slovenia and Croatia. This process was induced by a change in the main directions of traffic caused by the origination of new states and, at the same time, owing to their position neighbouring with the European Union, which these countries have been doing most of their business with. Development of highways is being given priority, as the existing highway network is not capable of coping with the heavily increasing volume of transport carried out predominantly on roads. Due to the mountainous terrain surrounding the Adriatic Sea shore it is necessary to build a series of tunnels. In Croatia, the first of them is the Sveti Marko tunnel, found on the Zagreb – Rijeka highway, about 15 km west from Karlovac town.

IN GENERAL

The 290 m long tunnel consists of two separated double-lane tunnel tubes, with the distance between centres of 30 m. Horizontal alignment is mostly straight, with transition curves at portal areas only. Vertical alignment of the two tubes is a convex curve, on a radius of 25,000 m, causing certain complications in the drainage design. The crossfall of the roadways is 2.5 %. A peculiarity of this tunnel is the fact that it passes under a cemetery of Bezjakovo Brdo municipality, including the mortuary-mourning hall. The major part of the tunnel tubes' length was built by mining methods. The overburden thickness varied from 2 m to 22 m. The portal blocks and a 36m-long section of the western tube were constructed in open pits. Thanks to the short length of the tunnel, neither cross passages nor a tunnel water distribution with fire hydrants were required, and the tunnel is not ventilated mechanically.

GEOLOGY AND SELECTION OF THE TUNNELLING METHOD

The rock mass consisted of the Lower Jurassic clastic and carbonate sediments, overlaid with the Quaternary cover. The clastic sediments were represented by a varied series of sandy dolomites, loamy marls and shales. The carbonate sediments underneath consisted mostly of dolomite and sandstone layers. Water table was found beneath the tunnel invert level. The bedrock was heavily weathered, and its thickness above the tunnel crown was up to 17 m. The modulus of deformation varied around 80 Mpa, Poisson's ratio around 0.3, cohesion was 50 kPa, and the angle of internal friction 25°. The parameters of the Quaternary cover were even worse. The width of one tunnel tube cross-section was 11 m. The tunnel was excavated by the New Austrian Tunnelling Method (NATM). In addition to standard NATM support means, the whole mined portion of the tunnel was supported by pre-grouting umbrellas. As opposed to rock or semi-rock excavation under a sufficient cover, it was impossible in this case to expect that the anticipated deformations could be coped with by anchoring. Therefore tough primary lining was designed and the invert closing prescribed at a distance from the face not exceeding 1 diameter of the tunnel tube.

EXCAVATION AND EXCAVATION SUPPORT

PREPARATORY WORK

Both tunnel tubes were driven from the northern portal pit. The bottom part of the pit up to a height of 8 m was sloped at a 60° angle and secured with 10-15cm thick shotcrete reinforced with welded wire mesh and 10 m long IBO anchors spaced at 2x2 m centres. The upper part of the pit was provided with 1:1 slopes, without other support measures. A 2 m wide berm was cre-

poloskalních horninách s dostatečným nadložím nebylo možno počítat s tím, že by se předpokládané deformace daly zvládnout pomocí kotvení, proto byla zároveň navržena tuhá primární obezdivka a předepsáno uzavření profilu ve vzdálenosti nejdále 1 průměr tunelové trouby od čelby.

RAŽBA A ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU

PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Obě tunelové roury byly raženy ze severní portálové jámy. Ta byla ve spodní části na výšku 8 m vysvahována ve sklonu 60° a zajištěna stříkaným betonem tloušťky 10 – 15 cm, vyztuženým ocelovými svařovanými sítěmi a 10 m dlouhými IBO-kotvami v rastru 2 x 2 m. Horní část jámy byla vysvahována ve sklonu 1 : 1 bez dalšího zajištění. Mezi dolní a horní částí byla vybudována 2 m široká berma. Pravá (západní) tunelová roura vchází do hory v místě terénní deprese, a proto jsou ražené portály odsazeny v podélném směru o 36 m. Počátek ražby levé (východní) roury probíhal v sousedství otevřené jámy pro pravou rouru s nadložím pokryvných útvarů o mocnosti 2 – 6 m. Šířka horninového pilíře mezi výrubem a sousední jámou byla 8 m. Jižní portálová jáma měla spíše charakter odřezu, neboť tunel vychází z hory šikmo ke spádnicí portálového svahu a bezprostředně na něj navazuje most. Portály tunelových trub jsou v podélném směru odsazeny o 23 m. Portálové bloky, budované hloubeně, byly o 2 m zataženy do rozšířeného výrubu ražené části. Spodní část portálové jámy byla vysvahována zhruba na výšku tunelů ve sklonu 3 : 1 a zajištěna kotvením a stříkaným betonem se sítěmi jako v předchozím případě. Vrchní část byla vysvahována ve sklonu 1 : 1,5 a měla již definitivní tvar portálového zářezu. Stříkaný beton byl po skončení ražby obložen kamennými bloky, vyskládanými ve stejném sklonu, které tvoří konečnou podobu portálového zářezu.

PŘEDSTIHOVÉ INJEKTÁŽNÍ DEŠTNÍKY

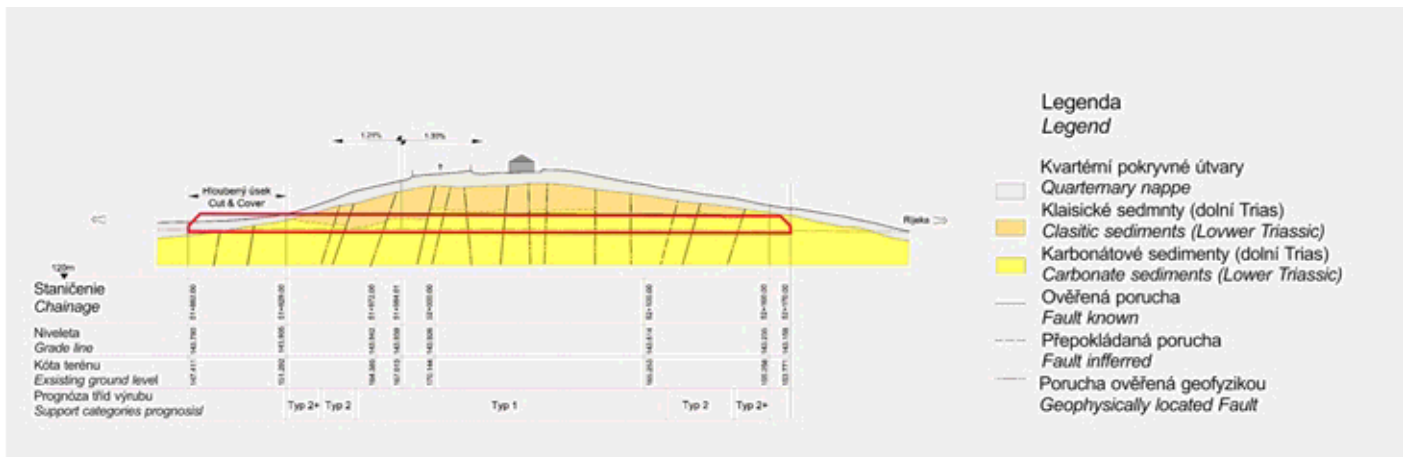
Celý tunel byl budován v nepříznivých geologických podmínkách. Pro zajištění bezpečné ražby byly proto v celé jeho délce použity deštníky z mikropi-

ated between the lower and upper level. The right-hand (western) tunnel tube cuts into the mountain at a location of a terrain depression. Therefore the mined portals are relatively offset by 36 m. The left-hand (eastern) tube excavation beginning took place in the vicinity of the open pit for the right-hand tube, with the overlying cover 2-6 m thick. The rock pillar between the excavation and the neighbouring pit was 8m wide.

The southern portal pit was rather a half-cutting as the tunnel emerges from the mountain skew to the line of maximum incline of the portal slope, and is directly followed by a bridge structure. The portals of the tunnel tubes are relatively offset by 23 m. The cut-and-cover portal blocks extended to the enlarged excavation of the mined part. The bottom part of the portal pit was sloped roughly up to the tunnels height level, at a 3:1 slope, and supported by anchors and shotcrete with mesh, identically with the above case. The upper part sloped at a 1:1.5 gradient was given the definitive shape of the portal cutting. When the excavation had been finished, the sprayed concrete surface was clad with stone blocks placed at the same inclination, forming the final appearance of the portal cutting.

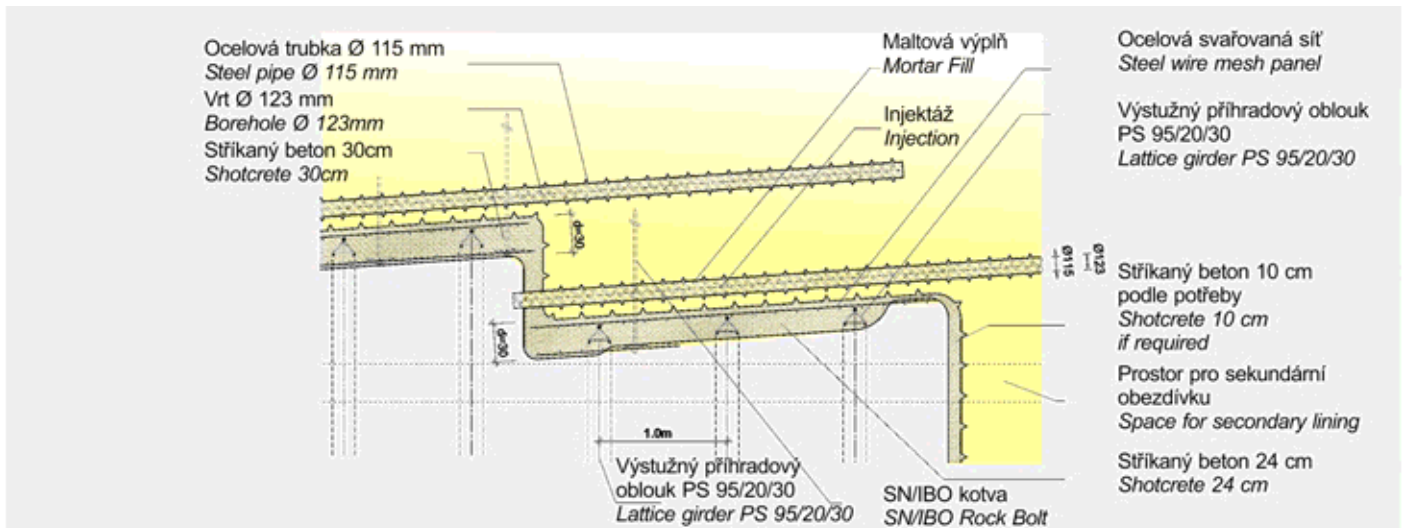
PRE-GROUTING UMBRELLAS

The whole tunnel was built under unfavourable geological conditions. Therefore, to secure safe excavation, micropile umbrellas were applied along the whole tunnel length consisting of perforated steel pipes 115 mm in diameter, with 6 mm wall thickness, inserted into 123 mm-diameter bore holes. Individual sections were 15m long, with a 3 m overlapping. The micropiles were drilled on 40cm centres. To allow trouble-free drilling of individual sections, the excavation had to be enlarged every 12 m so that the micropile axis was offset from the following excavation face by 17 cm, and an additional minimally 30 cm wide space remained above for the drilling gear. When the drilling and installation of the pipes in a particular section had been completed, the annulus between the pipe and the borehole wall was filled with mortar. A sleeve created in this manner prevented the injection



Obr. 2 Podélný geologický řez tunelem Sveti Marko

Fig. 2 Longitudinal geological section through the Sveti Marko tunnel



Obr. 3 Rozšíření výrubu v místě navrtání další sekce injeztážního deštníku

Fig. 3 The excavation enlargement at the place of drilling for next section of the grouting umbrella

lot, sestávající z ocelových perforovaných trubek o průměru 115 mm a tloušťce stěny 6 mm, osazovaných do vrtů o průměru 123 mm. Délka jednotlivých sekcí byla 15 m, podélný přesah 3 m. Osová vzdálenost jednotlivých mikropilot v místě navrtání byla 40 cm. Aby bylo možno jednotlivé sekce bez problémů navrtat, bylo nutno provést na každých 12 m rozšíření výrubu tak, aby osa mikropiloty byla od líce následujícího výrubu o 17 cm odsazena a nad ní zbylo ještě min. 30 cm místa ke stávajícímu líci stříkaného betonu pro vrtné soustrojí. Po navrtání a osazení trubek v každé sekci byla spára mezi trubkou a stěnou vrtu vyplněna maltou, která po zatvrdnutí vytvořila objímku, zabráňující pronikání injekční směsi zpět k ústí vrtu. Poté byly jednotlivé mikropiloty příslušné sekce zainjektovány.

Podle geometrického uspořádání mikropilot byly použity dva typy dešťníků. Prvním z nich byl dešťník ve tvaru vertikálně převýšeného vějíře s mikropilotami umístěnými pouze v klenbě kaloty. Výhodou tohoto řešení je zachování geometrie výrubu při jeho převýšování, přičemž se mění pouze výška kaloty. V tomto případě lze pro celou délku sekce použít stejné vyztužovací oblouky, pouze s proměnnou délkou v oblasti paty kaloty. Vystrojení výrubu bylo v tomto případě podle potřeby doplněno jehlováním po stranách předstihového dešťníku. Tento typ dešťníku byl použit pro lepší geotechnické parametry horninového prostředí.

Druhým typem byl dešťník ve tvaru radiálně rozbíhavého vějíře. Mikropiloty byly v tomto případě navrtány až do odklonu 57° od svislé osy profilu, kde začíná rozšíření paty kaloty. Geometrie kaloty i opěří byla proměnná v závislosti na rozvěření vějíře. Tento typ dešťníku byl použit pro ražbu v horších geologických poměrech.

TŘÍDY VÝRUBU

Ražený úsek obou tunelových trub byl rozdělen na základě statické analýzy do dvou tříd výrubu. Typ 1 označoval třídu výrubu s vertikálně převýšeným typem injektážního dešťníku, která byla uplatněna ve střední části tunelu. Typ 2 označoval třídu výrubu s radiálně rozbíhavým typem injektážního dešťníku, která byla použita pro oblasti s nižším nadložím. Pro příportálové oblasti byly navíc použity doplňující vyztužovací prvky. Vzhledem k daným fyzikálně-mechanickým vlastnostem horniny nebylo nutno použít trhacích prací a ražba byla prováděna pomocí tunelového bagru nebo hydraulického kladiva.

Ve třídě výrubu typ 1 byla ražba rozčleněna na kalotu, jádro a dno se spodní klenbou. Délka záběru byla 1 m a profil byl uzavírán v sedmém záběru od čelby. Výrub byl zajištěn kotvením po stranách předstihového dešťníku, v případě potřeby i jehlováním, a 30 cm silným primárním ostěním ze stříkaného betonu, vyztuženým dvěma ocelovými svařovanými sítěmi a příhradovými vyztužnými oblouky. Spodní klenba byla rovněž zajištěna stříkaným betonem tloušťky 30 cm se dvěma sítěmi. Pro kotvení byly zvoleny buď IBO-kotvy, nebo SN-kotvy podle toho, zda mělo prostředí charakter horniny, nebo spíše ulehle zemin. V kalotě byla délka kotev 3 – 4 m, v jádru 4 – 6 m vzhledem k poměrně velkému poloměru zakřivení, který vznikl v důsledku převýšování profilu.

Ve třídě výrubu typ 2 byla ražba rozčleněna stejně jako v předcházejícím případě, délka záběru i vystrojení byly shodné. Rozdíl byl v tom, že díky větší šířce injektážního dešťníku se v kalotě kotvilo i mezi předstihové mikropiloty. V závislosti na výsledcích geotechnických měření bylo v případě potřeby

grout from flowing back to the hole mouth. Subsequently the individual micropiles of the particular section were grouted.

Two umbrella types were used, depending on the geometrical configuration of the micropiles. The first one was a vertically surmounted fan-shaped umbrella with micropiles placed at the top heading vault only. The advantage of this solution is that the excavation geometry is maintained at its surmounting, while the top heading's height only varies. In this particular case, identical support arches can be used within the whole section length, whose legs' length only varies in the springing area. Spiling at the sides of the pre-grouted umbrella complemented the excavation support in this particular case on an as needed basis. This umbrella type was used in case of more favourable geotechnical parameters of the rock mass.

A radially diverging fan-shaped umbrella was the other type. In this case, the micropiles were drilled with a deflection from the vertical axis of the profile up to 57°, where the top heading's footing enlargement begins. The cross section of the top heading and the side wall areas varied depending on the fan opening. This umbrella type was used for excavation in worse geology.

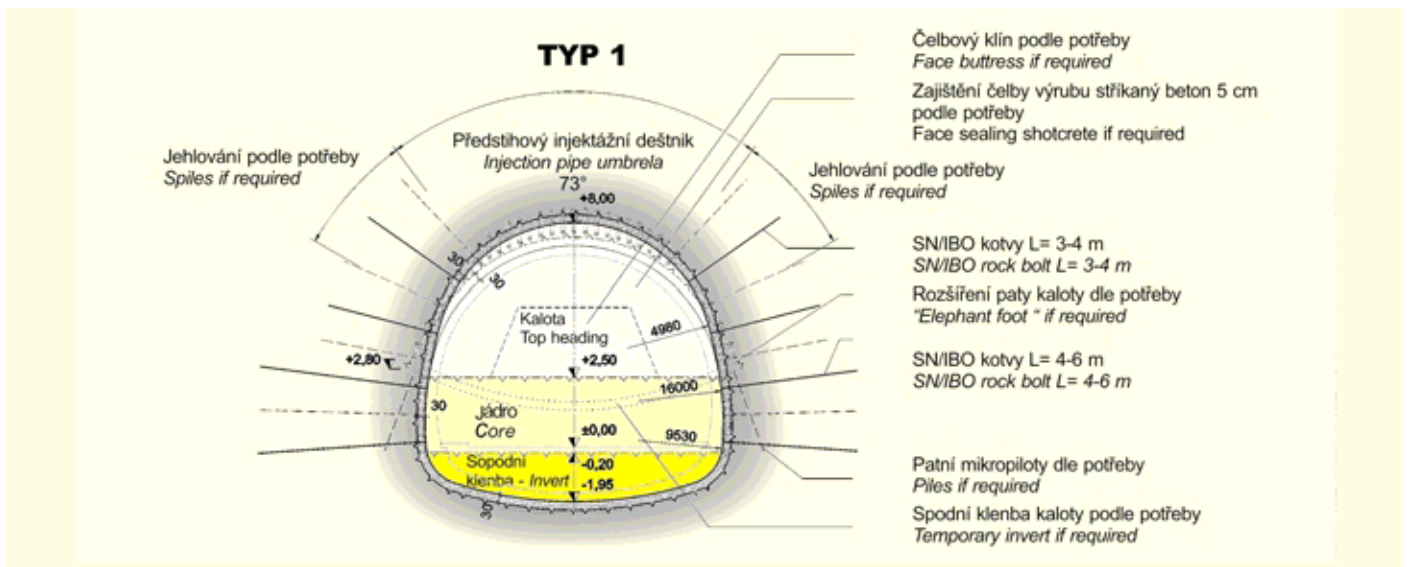
EXCAVATION CLASSES

The mined sections of the two tunnel tubes were divided into two excavation classes. Type 1 denoted an excavation class with the vertically surmounted type of the grouting umbrella, which was applied in the central part of the tunnel. Type 2 denoted an excavation class with the radially diverging type of the grouting fan, which was utilised for areas with lower overburden. In addition, complementing elements were used for portal areas. Blasting operations were not needed thanks to the given physical and mechanical properties of the rock. Tunnel excavator or hydraulic breaker were sufficient for the excavation.

For the excavation class Type 1, the excavation was phased into top heading, core and invert sequence. The round length of 1m was applied, and the profile was closed by invert in the seventh round from the face. The excavation was supported by anchors at the sides of the pre-grouting umbrella, even by spiling if required, and a 30 cm-thick primary shotcrete lining reinforced by two layers of welded mesh and lattice girders. Invert was also supported by shotcrete 30cm thick, with two layers of mesh. IBO-type anchors or SN-type anchors were used for anchoring, depending on the environment character being either rock or rather settled soil. The anchors were 3 – 4 m long in the top heading, while for the core excavation, due to a relatively large radius of the lining curvature originating as a result of the profile surmounting, a length of 4 – 6 m was needed.

For the excavation class Type 2, the excavation was phased identically as in the previous case, the round lengths and the support were the same. The difference consisted in anchors being placed even between the advanced micropiles, due to the greater width of the grouting umbrella. Depending on geotechnical measurement results, the support for both excavation classes was complemented by a wedge support core, shotcrete applied on the face, by widening of the top heading footing, or also micropiles at the top heading footing, or even securing the top heading invert by sprayed concrete.

In the areas close to the portals, the Type 2 excavation class was applied, complemented by the face support using 8 m-long IBO-anchors, while the above-mentioned complementing support elements application was com-



Obr. 4 Příčný řez tunelem s vertikálně převýšeným injektážním dešťníkem
Fig. 4 Cross section through the tunnel with vertically surmounted grouting umbrella

vystrojení v obou třídách výrubu doplněno čelbovým klínem, zajištěním čelby stříkaným betonem, rozšířením paty kaloty, případně i mikropilotami v patě kaloty, nebo dokonce spodní klenbou v kalotě, zajištěnou stříkaným betonem.

V příportálových oblastech byla pro ražbu použita třída výrubu typ 2, doplněná o zajištění čelby 8 m dlouhými IBO-kotvami, přičemž doplňující prvky vystrojení z předchozího odstavce byly použity povinně. Tloušťka stříkaného betonu primární obezdívky byla po celém obvodu profilu zesílena na 35 cm, délka všech kotev byla zvětšena na 6 – 8 m a jejich rastr zhuštěn. Schéma pobírání bylo v tomto případě upraveno tak, že výrub jádra tvořil v podstatě prodloužení čelbového klínu z kaloty až na úroveň počvy opěří. Profil byl uzavírán rovněž v sedmém záběru od čelby. Na počátku ražby levé tunelové roury byly kotvy na pravé straně kaloty provrtány až do sousední otevřené stavební jámy pro pravou tunelovou rouru, kde na ně byly osazeny kotevní hlavy i z druhé strany a poté staženy tak, že tvořily v podstatě předpjatou výztuž horninového pilíře.

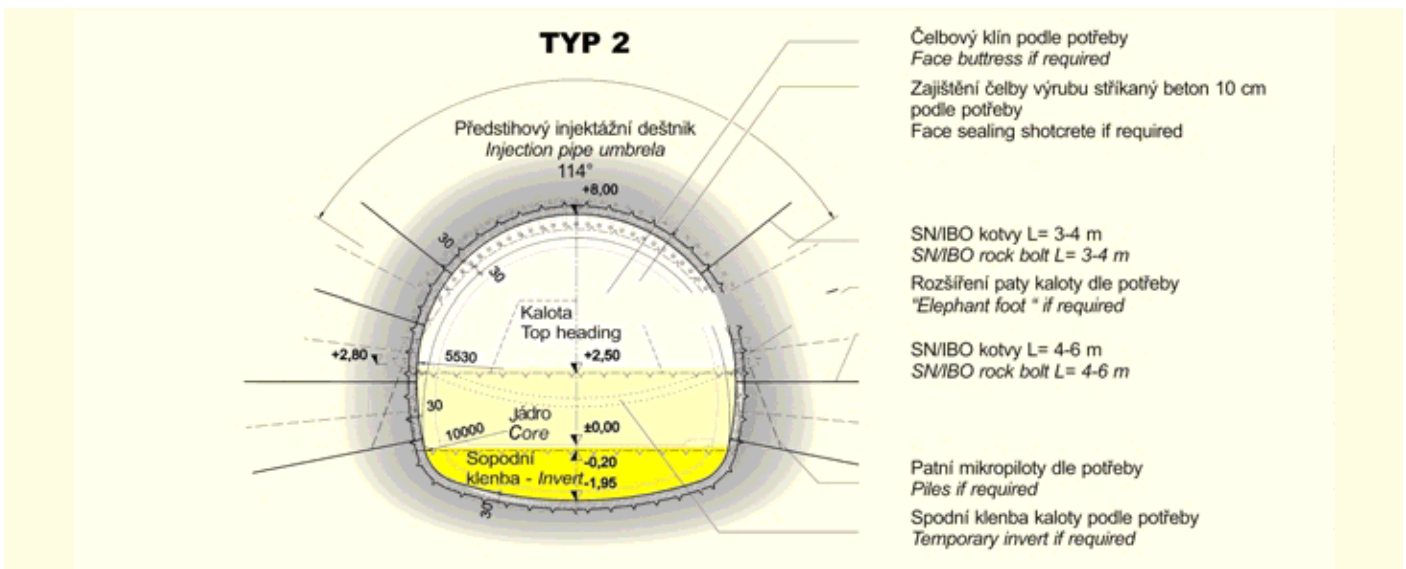
GEOTECHNICKÁ MĚŘENÍ

Pro sledování deformací horninového masivu byl vypracován program geotechnických měření. Ta probíhala jednak na povrchu, v oblasti předpokládané poklesové kotliny, a také v tunelových rourách. Na povrchu byly umístěny v osách obou trub měřické body v odstupu po 25 m, pomocí nichž bylo měřeno sedání v čase, v závislosti na prostorové poloze čelby. Tatáž měření

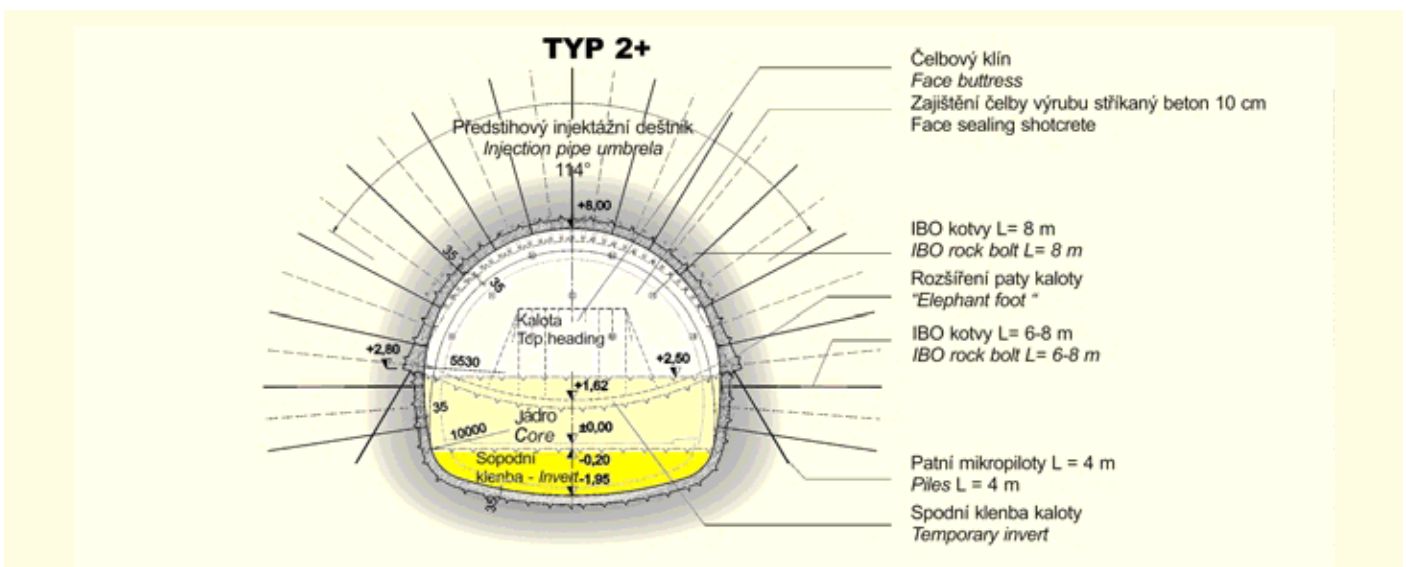
pulsory. The primary lining shotcrete thickness increased to 35 cm around the full section, the length of all anchors rose to 6 – 8 m, and their spacing became denser. The excavation sequence was modified in this case. In essence, the core excavation consisted in the excavation of the wedge support core in the top heading extending down to the core bottom. The profile was also closed at the seventh round from the face. At the beginning of the left tunnel tube excavation, the anchors on the right-hand side of the top heading were drilled through, up to the adjacent open construction pit excavated for the right-hand tunnel tube. Face plates were mounted on those anchors even from the opposite side. The anchors were tensioned then, forming in substance a pre-tensioned support of the rock pillar.

GEOTECHNICAL MEASUREMENTS

A programme of geotechnical measurements was developed for the monitoring of the rock mass deformation. The measurements were carried out both on the surface, within the anticipated settlement trough area, and also inside the tunnel tubes. Survey points on the surface were placed at 25 m spacing above the centre lines of the two tunnel tubes. They allowed measurement of the settlement changing with time, depending on the spatial position of the face. The same measurements were carried out inside the tunnels too, using survey points installed at about 12 m spacing in the vault (denser at portals). In addition, five-point convergence stations were established in the tunnels every 20 – 25 m, where deformations and convergences



Obr. 5 Příčný řez tunelem s injektážním deštníkem ve tvaru radiálně rozbíhavého vějíře
Fig. 5 Cross section through the tunnel with radially diverging fan-shaped umbrella



Obr. 6 Příčný řez tunelem s vystrojením výrubu v příportálových oblastech
Fig. 6 Cross section through the tunnel with the excavation support in areas close to portals

probíhala i v tunelech, kde byly v klenbě osazeny měřické body po asi 12 m (u portálů hustěji). V tunelech byly dále osazeny po 20 – 25 m pětibodové konvergenční profily, kde byly měřeny deformace a konvergence primární obezdvíky, resp. horninového masivu.

Kromě těchto měření byly navíc použity také inklinometry. Pět z nich bylo umístěno přímo v tunelových rourách a dalších 13 (z toho 6 ks délky 20 m a 7 ks délky 30 m) na povrchu. Jednalo se o kombinované inklinometry, schopné měřit deformace v různých hloubkách v jednom vrtu zároveň. Tímto způsobem bylo chování horninového masivu dostatečně přesně sledováno a výsledky měření byly obratem zohledňovány při volbě vhodného množství a typu vystrojovacích prostředků.

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

SEKUNDÁRNÍ OBEZDÍVKA RAŽENÉ ČÁSTI

Na základě výsledků statických výpočtů byla v ražené části použito ostění z prostého betonu, tloušťky min. 30 cm. V oblasti opěří, kde jsou vyšší ohybové momenty a zároveň větší poloměr profilu, byla tato tloušťka téměř o polovinu zvětšena. V důsledku rozšiřování profilu při ražbě, nutného pro osazování jednotlivých sekcí injektážních deštníků, však ve skutečnosti dosahovala tloušťka sekundárního ostění až 1 m. Spodní klenba je v celé ražené části z prostého betonu, v ose tunelu dosahuje tloušťky 1 m a pod základovými pasy asi 40 cm. Samotné základové pasy, zajišťující přenos napětí mezi horní a spodní klenbou, jsou průběžné, z prostého betonu, široké 120 cm a vysoké 40 cm. Standardní délka jednotlivých bloků betonáže byla 12 m. Vždy první blok v hoře od raženého portálu, resp. tři bloky levé tunelové roury v sousedství otevřené jámy pro pravou rouru byly konstrukčně vyztuženy. Spáry mezi jednotlivými bloky byly do hloubky 8 cm od líce obezdvíky opatřeny náběhovým rozšířením a vyplněny elastomerovým kompresním provazcem.

PORTÁLY A HLOUBENÁ ČÁST

Všechny čtyři portálové bloky, jakož i tři bloky vybudované v otevřené jámě, byly dimenzovány na plné zatížení způsobené následným přesypáním. Statickým výpočtem bylo navrženo železobetonové ostění tloušťky 60 cm, jejíž vnitřní líc koresponduje se sekundárním ostěním v ražené části. Vnější líc je paralelní s vnitřním až do místa svislé tangenty v opěří, odkud pokračuje

of the primary liner or the rock mass were measured.

Apart from the above measurements, also inclinometers were used. Five of them were positioned directly inside the tunnel tubes, while additional 13 pieces (out of that 6 pcs 20m long and 7 pcs 30m long) were installed from the surface. They were combined inclinometers capable of measuring deformations at various depths in one borehole simultaneously. This procedure allowed sufficiently accurate monitoring of the rock mass behaviour. In the turn, the measurement results were taken into consideration in the process of selection of suitable amount and type of the means of support.

FINAL LINER

SECONDARY LINING OF THE MINED PART

Based on the results of structural analysis, a minimally 30 cm-thick mass concrete lining was designed. In the side wall area, where bending moments are higher and the cross-section radius is bigger, the thickness was increased by nearly one half. As a matter of fact, the secondary lining thickness reached 1m due to the cross-section enlargement carried during the excavation work to make the installation of individual sections of the grouting umbrellas possible. The invert is from mass concrete within the whole mined part. Its thickness reaches 1m on the tunnel axis, and about 40 cm under the strip footing. The strip footings themselves, securing the stress transfer between the vault and invert, are continuous, from mass concrete, 120 cm wide and 40 cm high. Standard length of individual casting blocks was 12 m. Each first block behind a mined portal, and three blocks of the left-hand tunnel tube found next to the open pit for the right-hand tube, were provided with concrete reinforcement. The joints between individual blocks had a tapered groove 8cm deep in the liner's internal surface, filled with an elastomer compression rope.

PORTALS AND THE CUT-AND-COVER PART

All the four portal blocks as well as the three blocks built in the open pit, were designed to withstand full loading by the subsequent backfill. The structural analysis ensued into the design of the 60cm thick reinforced concrete envelope, whose internal surface corresponds with the secondary lining used in the mined part. The external and internal surfaces are parallel up to



Obr. 7 Pohled na severní portály po dokončení betonáže

Fig. 7 View of the north portals after completion of concrete casting

čuje svisle dolů. Základové pasy jsou na vnitřní straně provedeny shodně s raženou částí a na vnější straně vytaženy až k vnějšímu líci horní klenby. Spodní klenba je na rozdíl od ražené části prohloubena a rovněž vytažena až k vnějšímu líci základového pasu. V tomto místě má tloušťku 20 cm a v ose tunelu dosahuje 132 cm. Spodní klenba jakož i základové pasy jsou vybudovány z monolitického železobetonu.

Portálové bloky jsou v podélném směru seříznuty ve sklonu 1 : 1. Tím bylo dosaženo opticky vyváženého přechodu od volné trasy dálnice do tunelu. Portálový věnec tvoří zborcená plocha stejné tloušťky jako zbytek portálového bloku (60 cm), která je v každém bodě kolmá na oba líce ostění. Začíná vždy v místě, kde je tloušťka obezdívky již konstantní, tj. asi 1,5 m nad vozovkou, kde má v podélném směru sklon 45° a pokračuje do klenby portálu, kde je svislá. Toto řešení bylo zvoleno proto, že jej lze velmi snadno vybednit pomocí dřevěných prken, osazených kolmo na bednicí vůz v požadovaném podélném sklonu řezu. Vrchol klenby tunelu je tak asi o 5,3 m blíže směrem k hoře. V oblasti rozšířené opěry portálu, podél svislého vnějšího líce ostění, je čelní strana portálu rovněž svislá.

Portálové i hloubené bloky byly následně přesypány zeminou a terén byl v bezprostředním okolí patřičně vymodelován. U severních portálů byla vyplněna i terénní deprese a portály obou tunelových trub umístěny oproti předcházejícímu stupni dokumentace do stejného staničení. Tím bylo docíleno architektonicky harmoničtějšího perspektivního pohledu.

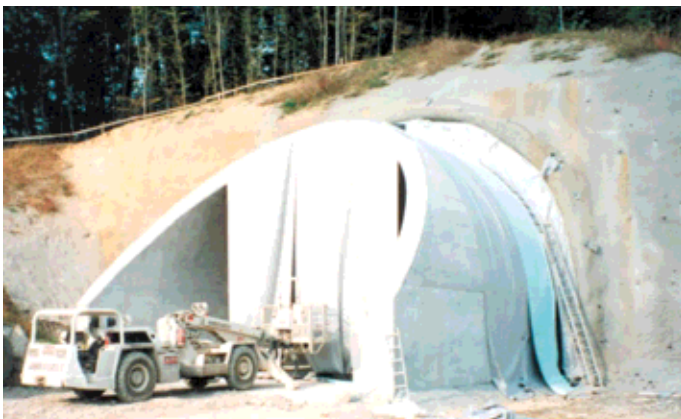
VÝKLENKY

V každé tunelové rouře byly vybudovány vždy na levé straně ve směru jízdy dva výklenky pro elektrotechnická zařízení šířky 160 cm, hloubky 170 cm a výšky nad nouzovým chodníkem 225 cm. Dále byly vždy po 48 m oboustranně zřízeny výklenky pro čištění drenáže tunelu. Ty jsou hluboké 40 cm, široké 140 cm, vycházejí z líce vnitřního ostění náběhem o výšce asi 2 m a je jich dohromady 9 párů. Všechny výklenky jsou situovány v ražené části tunelu. Výklenky pro čištění drenáže jsou díky staticky výhodné geometrii provedeny pouze z prostého betonu a výklenky pro elektrotechnická zařízení jsou z železobetonu.

Umístění nevyztužených výklenků pro čištění drenáže v tunelovém bloku bylo zvoleno s ohledem na smršťování betonu a s tím spojeným tvořením trhlin. Největší napětí ze smršťování vznikají ve středu délky tunelového bloku, a protože výklenky byly betonovány zároveň s definitivní obezdívkou,



Obr. 8 Tunelový blok s oběma druhy výklenků
Fig. 8 Tunnel block with both types of niches



Obr. 9 Pohled na vytaženou izolaci z posledního rozšíření ražené části na jižní portál
Fig. 9 View of the waterproofing membrane protruding from the last enlargement of the mined part to the South Portal

the location of the vertical tangent, from which place it becomes vertical. Foundation strips are carried out identically with those of the mined part on the internal side, while they continue up to the external face of the upper vault on the external side. The invert is, as opposed to the mined part, deepened and also extended up to the external face of the foundation strip. It is 20cm thick at this place, while the thickness reaches 132 cm on the tunnel axis. The invert and strip foundation are from mass concrete.

The portal blocks are cut skew, reposing at 1:1. Thanks to this measure an optically balanced transition of the highway route from the open space to the tunnel was achieved. The portal collar has a twisted surface perpendicular at each point to both faces of the liner. Its thickness is identical with the thickness of the remaining part of the portal block, i.e. 60cm. Its beginning is always at such a location where the liner's thickness is constant, i.e. about 1.5m above the carriageway, where its longitudinal gradient is 45°, and continues up to the portal crown where it is vertical. This solution was adopted because the formwork can be easily assembled using wood planks fixed perpendicular to the form traveller, at the longitudinal slope required at the particular cross section. Thus the summit of the tunnel vault is about 5.3m closer to the mountain. In the area of the widened portal side wall, along the vertical extrados of the liner, the front side of the portal is also vertical.

The portal blocks and cut-and-cover blocks were subsequently covered with soil backfill, and the surface in the close vicinity was suitably modelled. A terrain depression at the northern portals was also backfilled, and, contrary to the preceding level of design documentation, the portals of the two tunnel tubes were placed to identical chainages. An architectonically more harmonic perspective view was achieved in this manner.

NICHES

Two niches for electrical equipment were built in each tunnel tube. The 160cm wide, 170 cm deep and 225 cm high (measured from the emergency pavement level) niches are on the left-hand side of the particular tunnel tube (viewed looking in the traffic direction). Further, niches for the tunnel drainage cleaning up were provided every 48 m, on both sides (9 pairs in total). The niches are 40 cm deep and 140cm wide. Their inclined back face starts from the 40 cm depth and ends at the internal lining intrados at a height of about 2 m. All the niches are situated in the mined part of the tunnel. Owing to their geometry, advantageous in terms of structural analysis, the drainage cleaning niches could be built in mass concrete only, while the niches for electrical equipment are from reinforced concrete.

Locations of the non-reinforced drainage cleaning niches within a tunnel block were chosen with respect to concrete shrinkage and related creation of fissures. The highest shrinkage stresses originate at the midpoint of a tunnel block length. As the niches were cast together with the final liner, it is inappropriate to place them just to the centre of the block. Namely it could happen that a network of cracks would originate around in the mass concrete of the lining, whose width could exceed the prescribed limit. For that reason a distance of the niche's axis 3 m from the joint between the casting blocks was chosen, leaving about 2 m length of standard secondary liner between the niche wall and the block joint.

The larger niches for electrical equipment were, similarly to the adjacent surrounding area of the internal liner, reinforced, and the reinforcement resolved the issue of shrinkage fissures creation. For that reason their axis was at a distance of 5 m from a joint between two blocks, allowing so maintenance of the embedment lengths of longitudinal reinforcing bars. An abnormal case occurred within one of the blocks, containing both kinds of the niches on one tunnel side. There was an axial distance of 4m between the niches, with the above-mentioned distances of 4 m kept.



Obr. 10 Pohled na tunelovou drenáž u portálu (vpravo) a odvodnění vrstev vozovky (vlevo)
Fig. 10 View of the tunnel drainage at a portal (right), and drainage of the sub-base courses (left)

není vhodné je umístit právě do středu bloku. Mohlo by se totiž stát, že se v prostém betonu ostění kolem výklenku vytvoří síť trhlin, jejichž šířka by mohla překročit předepsanou mez. Z toho důvodu byla zvolena poloha 3 m od spáry mezi bloky betonáže k ose výklenku. Tím zbylo mezi stěnou výklenku a blokovou spárou asi 2 m délky standardního sekundárního ostění.

Větší výklenky pro elektrotechnická zařízení byly, tak jako bezprostřední oblast vnitřního ostění kolem nich, vyztuženy a tato výztuž pokryla i tvoření smršťovacích trhlin. Proto byla jejich osa vzdálena 5 m od spáry mezi bloky, s ohledem na kotevní délky výztuže v podélném směru. V jednom z bloků nastal anomální případ, neboť zde byly na jedné straně tunelu umístěny oba druhy výklenků. Osová vzdálenost mezi nimi byla při dodržení výše popsaných vzdáleností 4 m.

IZOLACE A ODVODNĚNÍ TUNELU

IZOLACE

Vzhledem k dostatečné hloubce hladiny podzemní vody byly obě tunelové roury drenážovány. Izolovat bylo proto třeba pouze proti srážkovým vodám, které prosakují skrz nízké a propustné nadloží. Bylo použito mezilehlé izolace z plastových pásů tloušťky 2 mm, umístěných vždy od klenby tunelu po boční drenáže, nacházející se na vnější straně základových pásů. Izolace byla upevněna na vyrovnávací vrstvu z jemnozrnného stříkaného betonu, která kopírovala vnitřní líc primárního ostění a vyrovnávala povrchové nerovnosti. Izolace pak byla osazena a svařena tak, že respektovala rozšíření výrubu nutná pro zhotovení předstihových deštníků a celý prostor uvnitř byl až k líci sekundárního ostění vyplněn betonem.

TUNELOVÁ DRENÁŽ

Pro odvedení vod prosakujících horninovým masívem ke konstrukci tunelu byly pro každou tunelovou rouru použity dvě perforované plastové trubky DN150, podkovovitěho tvaru s rovným dnem. Umístěny byly do betonového lože mezi základovými pásy a primární obezdívkou a obsypány říčním štěrkem. Vzhledem k tomu, že je tunel veden ve vrcholovém oblouku s poloměrem 25 000 m, bylo nutno umístit drenážní trubky tak, aby bylo dosaženo min. podélného spádu 0,5 %. To vedlo k tomu, že uprostřed tunelu je drenáž umístěna o něco výše a u portálů naopak o něco níže, než by byla optimální poloha. Vzhledem k tolerancím v prostoru pro vedení drenáže je však toto řešení možné. Šachty pro čištní drenáže jsou situovány po 48 m, což je i přes minimální spád dostatečná vzdálenost, aby bylo možno drenáž udržet funkční po celou dobu životnosti tunelu. Každá šachta sestává ze dvou čisticích otvorů o rozměrech 60 x 40 cm, umístěných za sebou v podélném směru a překrytých litinovými poklopy s těsněním proti pronikání kapalín. U portálových a hloubených bloků byla drenáž vyvedena na vnější stranu konstrukce a místo zásyvu štěrkem byl použit filtrační beton.

ODVODNĚNÍ VNITŘNÍHO PROSTORU TUNELU

Ve vnitřním prostoru tunelu jsou instalovány dva druhy odvodnění. Jedním je odvodnění podkladních vrstev vozovky a druhým odvodnění vod z vozovky, nouzových chodníků a stěn tunelu. V prvním případě se jedná o „čistou“ vodu, která může nastoupat odspodu přes neizolovanou spodní klenbu, případně proudit podkladními vrstvami vozovky od portálů a ve druhém případě jde o „špinavou“ vodu, která je do tunelu zanesena buď provozem vozidel, nebo vodu použitou pro čištění tunelu.

Odvodnění podkladních vrstev vozovky bylo řešeno podobně jako u tunelové

TUNNEL WATERPROOFING AND DRAINAGE

WATERPROOFING

With respect to a sufficient depth of the water table, it was possible to drain both tunnel tubes. Therefore it was necessary to protect the structure against rain water only, seeping through the low and permeable overburden. Intermediate waterproofing membrane 2mm thick was applied, installed from the tunnel crown to the side drains found on the outer side of the strip foundation. The membrane was fixed on a levelling layer of fine-grained shotcrete, copying the internal face of the primary liner and removing the surface roughness. The membrane was installed and welded in a manner respecting the excavation enlargements needed for execution of the pre-grouting umbrellas, and the whole space up to the secondary liner's face was filled with concrete.

TUNNEL DRAINAGE

Two perforated, horseshoe-shaped pipes DN150 with flat bottom, were used for each tunnel tube to evacuate water seeping through the rock mass to the tunnel structure. They were placed in concrete bed between the foundation strips and primary liner, and backfilled with pebble. Due to the fact that the tunnel alignment is a convex curve, on a radius of 25,000 m, the drainage pipes had to be placed so that the drainage gradient was not less than 0.5%. This resulted into the drainage position a little higher at the tunnel middle, and a little lower at the portals than an optimal position would have been. Although, this solution is viable thanks to the tolerances in the space available for the drainage routing. The drainage cleaning manholes are situated at intervals of 48 m. This distance is, despite the minimal gradient, satisfactory for keeping the drainage operational for the whole lifetime of the tunnel. Each manhole consists of two cleaning holes 60x40 cm, positioned in tandem in the drainage direction, and covered with cast-iron covers sealed against penetration of liquids. At the portal blocks and cut-and-cover blocks, the drainage was routed to the external side of the structure. Filtration concrete was used for the backfill instead of pebble.

DRAINAGE OF THE TUNNEL INTERIOR

Two drainage systems are installed in the tunnel interior. One system is the drainage of the sub-base courses, the other one is the drainage of water from the carriageway, emergency pavements and tunnel walls. The former system evacuates "clean" water, which can rise from the bottom through the uninsulated invert or flow through the sub-base courses from the portals. The latter system deals with "dirty" water, brought to the tunnel either by the traffic, or water used for the tunnel cleaning.

The sub-base courses drainage was solved similarly to the tunnel drainage, i.e. by horseshoe shaped plastic perforated pipe DN150 with flat bottom. A levelling concrete layer at a 2.5 % crossfall was cast on the invert, whose lower edge the pipe was embedded on. The drainage is connected to the cleaning manholes on the side tunnel drainage. It is also cleaned up from these manholes. At the portals, both this drainage and the tunnel drainage discharge to a seepage pit.

To evacuate the "dirty" water, a slot channel combined with a curb was installed at the right edge of the road (viewed looking in the traffic direction). The horizontal slot is 3 cm wide, and its position is at the road edge, next to



Obr. 11A Prefabrikát šterbinové odpadní roury s otevřenou šterbinou

Fig. 11A Precast unit of the slot channel, with open slot



Obr. 11B Ditto s uzavřenou šterbinou

Fig. 11B Ditto with the closed slot



Obr. 12 Prefabrikát horní části syfonu šterbinové odpadní roury s normou stěnou

Fig. 12 Precast unit of the upper part of the interceptor on the slot channel with the baffle wall

vé drenáže plastovou perforovanou trubkou DN150, podkovovitého tvaru s rovným dnem. Na spodní klenbu byla vybetonována vrstva vyrovnávacího betonu s příčným spádem 2,5 %, do které byla trubka na spodním okraji osazena. Drenáž je svedena vždy po 48 m do čistících šachet boční tunelové drenáže, odkud je také čistěna. U portálů pak je tato drenáž odvedena spolu s tunelovou drenáží do vsakovací jámy.

Pro odvedení „špinavých“ vod byla osazena vždy u pravého okraje vozovky ve směru jízdy šterbinová odpadní roura, kombinovaná s obrubníkem. Šterbina je široká 3 cm a je umístěna vodorovně na kraji vozovky před obrubníkem. Pro výpočet kapacity odvodnění byl proveden hydraulický výpočet. Vzhledem k nízkému podélnému spádu bylo akceptováno řešení odvedení vody s časovým zpožděním. To znamená, že hlavním kritériem bylo rychlé odvodnění plochy vozovky, přičemž vlastní odtok vody uvnitř šterbinové roury je rozložen na delší časové období. Aby bylo v případě nehody a výtoky hořlavých látek zabráněno hoření uvnitř šterbinové roury, byly v závislosti na podélném sklonu po každých 48 – 108 m osazeny syfony a šterbina vždy 9 m před a za syfonem uzavřena. Plocha šterbinové roury byla zvolena s ohledem na nízký spád a syfony 514 cm². Podmínkou bylo, že nesmí dojít ke zpětnému vytékání hromadící se kapaliny zpět na vozovku. Tomu zabráňuje uzavření šterbiny před syfonem. Vzdálenost mezi syfony vymezuje spolu s plochou vtokové šterbiny potřebnou kapacitu pro odvedení předepsaného množství 50 000 litrů kapaliny v požadovaném čase 20 min., přičemž je splněna i podmínka, že kapalina bude pojmuta šterbinou v délce max. 200 m. Průměrný odtok přitom dosahuje při zvolené odtokové ploše, daném podélném spádu a rozmístění syfonů, které proudění kapaliny brzdí 40l/s. „Špinavé“ vody byly u portálů svedeny z obou tunelových trub do kalových jámek.

Pro čištění šterbinové roury byly po každých 48 m osazeny čistící šachty. U každého syfonu jsou dva otvory o rozměrech 19 x 36 cm, umístěné vždy před a za nornou stěnou a překryté přišroubovaným poklopem z nerezového plechu, zaručujícím těsnost proti pronikání vzduchu a kapalin. Mimo syfony je čistící šachta tvořena jedním otvorem o rozměrech 20 x 36 cm a překrytý stejným způsobem. V místě syfonů bylo nutno provést přerušení průběžného základového pasu, neboť odvodnění bylo uloženo na něm a pro provedení syfonu byla potřeba větší hloubka. Celý odvodňovací systém šterbinové roury (jakož i obrubníky a desky nouzových chodníků) byl sestaven z prefabrikátů, uložených do maltového lože, které byly vyrobeny v místní betonárně dle projektové dokumentace. Zejména u norných stěn syfonů se jednalo o velmi komplikované tvary, jejichž zabetonování nebylo jednoduchou záležitostí a muselo se betonovat natřikrát. Přesto však byla výroba prefabrikátů zvládnuta v požadovaném čase a ve vynikající kvalitě. Příčné spáry byly při osazování vyplněny maltou.

VNITŘNÍ KONSTRUKCE

Vnitřní konstrukce tunelu, které byly součástí kontraktu, tvoří vozovka, nouzové chodníky a příčky ve výklencích pro elektrotechnická zařízení. Vozovka je v každé tunelové rouře široká 7,7 m a skládá se z následujících vrstev:

- obrusná asfaltbetonová vrstva tloušťky 6 cm se zesvětlovací příměsí;
- nosná asfaltbetonová vrstva tloušťky 12 cm;
- vrstva drceného kameniva (kufř) tloušťky 52 cm.

Nouzové chodníky jsou umístěny oboustranně a mají šířku min. 90 cm. Od vozovky jsou odděleny železobetonovým obrubníkem tl. 20 cm, resp. šterbinovou odvodňovací rourou, které jsou uloženy do maltového lože na základových pasech. Konstrukci chodníku tvoří železobetonová deska tloušťky 13 cm, osazená na vnitřní straně do vybraní obrubníku, resp. šterbinové roury a na vnější straně na výstupku sekundární obezdívky, k tomuto účelu zhotovenému již při její betonáži. Na tomto výstupku byl nejprve uložen vyrovnávací beton, tak aby měly desky chodníku po osazení dostředný sklon 2 %, poté umístěny neoprénové pásy, na které byly desky položeny a spáry vyplněny maltou. Nakonec byly rozšířené konce spar u horního povrchu vylity asfaltem, aby nedocházelo k zatékání vody pod chodníky při čištění tunelové obezdívky. V prostoru pod chodníky jsou umístěny kabelové kanály. Kabely jsou v nich volně uloženy do pískového lože. Kabelové kanály byly po každých 50 m odvodněny do prostoru kufř pod vozovkou. V místě výklenků pro elektrotechnická zařízení jsou kabely vyvedeny stranou do výklenku. Před portály jsou pomocí chrániček odvedeny do kabelových tras volné trasy dálnice.

Pro oddělení prostoru tunelu od elektrotechnických zařízení ve výklencích byly vybudovány dělicí příčky, umístěné přibližně tangenciálně k vnitřnímu líci sekundárního ostění. V nich jsou osazeny jednokřídlové dveře o rozměrech 70/210 cm, zajišťující přístup obsluhy k zařízením uvnitř výklenků.

VYBAVENÍ TUNELU

Vzhledem k tomu, že tunel Sveti Marko je krátký, tvoří jeho provozní vybavení pouze osvětlení, dopravní značení, elektrotechnická zařízení ve výklencích, kabelové trasy a uzemnění. Vybavení bylo realizováno místními specializovanými firmami, ke stavební části náleželo pouze uzemnění. To bylo

the curb. A hydraulic analysis was carried out to determine the drainage capacity. Because of the low gradient a system of delayed evacuation of water was adopted. This means that the main criterion was a quick evacuation of water from the road pavement, while the water outflow from the channel is distributed over a longer time period. To prevent burning of a flammable substance inside the slot channel in a case of accidental spillage, there are interceptors installed every 48-108 m (depending on the channel gradient), and the slot is closed 9m before and behind each interceptor. The cross section area of the slot channel of 514 cm² was designed with respect to the low gradient and interceptors. The necessary condition was that the accumulating liquid could not flow back on the road pavement. Such an event was prevented by the slot closure before the interceptor. The capacity of the drainage system is determined by the distance between the interceptors and the area of the intake slot. Specifications require a capacity of 50,000 litres of liquid to be evacuated within 20 minutes, while the liquid has to be taken in within the slot length of 200 m as a maximum. Under such the conditions, i.e. the chosen area of passage, the given gradient and spacing of the interceptors decelerating the flow, the average outflow reaches 40 litre/s. The "dirty" water from both tunnel tubes was collected to settling tanks.

Manholes for cleaning the slot channel were installed every 48 m. There are two openings at each interceptor, with dimensions of 19x36 cm. They are positioned before and behind the baffle wall, covered with bolted stainless steel sheet cover guaranteeing air- and liquid-tightness. Apart from the interceptors, the cleaning manhole has one opening with dimensions of 20x36cm, and is covered identically. The continuous strip foundation had to be interrupted at the interceptor locations since the drainage was placed on it, and the construction of the interceptor required bigger depth. The whole slot channel drainage system (as well as the curbs and slabs of emergency pavements) was assembled from precast elements produced at local batching plant according to drawings. Namely the interceptor baffle walls with their complicated shapes were difficult to form, and they had to be cast in three steps. Despite that fact, the prefabrication was coped with within the time required and in excellent quality. Transverse joints were filled with mortar during the installation.

INTERNAL STRUCTURES

Internal tunnel structures which were covered by the contract were the carriageway, emergency pavements and partition walls in the niches for electrical equipment. The carriageway is 7.7 m wide in each tunnel tube. It consists of the following courses:

- asphaltic concrete wearing course, 6 cm thick, with a lightening admixture
- asphaltic concrete bearing course, 12 cm thick
- crushed aggregate course (road bed), 52cm thick

Emergency pavements minimally 90 cm wide are along both sides of the tunnel. They are separated from the carriageway by 20cm thick reinforced concrete curbs, i.e. slot channel prefabricates, placed into mortar bed on foundation strips. The pavement structure is formed by a reinforced concrete slab, 13cm thick, locked on its internal side into a recess in the curb, or in the slot channel, and resting on its external side on a step projecting from the secondary liner, prepared for this purpose in the casting phase. First a levelling concrete layer was spread on this step so that the pavement slabs were on a slope towards the centre of 2 %. Neoprene strips were placed then, and the slabs were laid on them. Joints were backfilled with mortar. Eventually asphalt was poured to the widened ends of the joints, preventing water seepage under the pavements during the tunnel lining clean up. Under the pavements there are cable ducts. They contain cables freely placed in a sand bed. The cable channels were drained every 50 m into the road bed space under the carriageway. The cables have branches at the locations of niches for electrical equipment, leading to the niches. In front of the portals, they are routed to the cable runs leading along the free highway alignment. To separate the tunnel space from the electrical equipment in the niches, partition walls were built, located roughly tangentially to the internal face of the secondary liner. They contain single-wing doors with dimensions of 70 x 210 cm allowing access of the operators to the equipment inside the niches.

THE TUNNEL EQUIPMENT

As the Sveti Marko tunnel's length is quite short, its operational equipment consists of lighting, road signs and marking, electrical equipment in the niches, cable runs and grounding system. This equipment was supplied by local specialist firms. The grounding system only was part of the civil works contract. It was carried out by means of a continuous ground conductor, FeZn strip 30x40 mm, led at the upper part of the foundation strips, on the left-hand side of the tunnel (viewed looking in the traffic direction). The grounding of the electrical equipment contained in the niches, as well as concrete reinforcement of the blocks which they were installed in, were con-

provedeno pomocí průběžného zemnicího pásu Fe/Zn 30 x 4 mm, vedeného v horní části základových pasů na levé straně tunelu ve směru jízdy. Na něj byla vodivě připojena výztuž v těch tunelových blocích, kde byla osazena a uzemnění elektrotechnických zařízení ve výklencích. Osvětlení je napájeno z výklenků, elektrickým vedením umístěným na povrchu ostění a vedeným dále v zavěšeném korýtku, souběžně s linií osvětlení. U portálů je kromě průběžného tunelového osvětlení instalováno také akomodační osvětlení pro snazší překonání rozdílu intenzity světla vně a uvnitř tunelu.

ZÁVĚR

Tunel Sveti Marko je vydařeným příkladem moderního tunelového stavitelství, uskutečněným v zemi, která byla až dosud pro výstavbu tunelů spíše exotická. Tento úspěšný průlom byl umožněn díky důvěře zadavatele ve zkušenosti projektanta a prováděcí firmy a díky dovednostem zaměstnanců místních dodavatelských firem, kteří se pod odborným vedením zahraničních expertů rozhodnou měrou zasloužili o zdárný průběh výstavby. Přestože byli všichni zúčastnění postaveni před nelehkou úlohu, vyprojektovat a vybudovat dílo ve složitých geologických poměrech v neznámých podmínkách dodavatelsko-odběratelských vztahů (účast místních firem na výstavbě byla podmínkou zadavatele při vypisání soutěže) a postupovat zčásti podle nezažitých a neověřených národních normových a směrnicevých podkladů, přičemž byl kladen velký důraz na kvalitu a zároveň přijatelnou cenu, podařilo se všechna kritéria splnit.

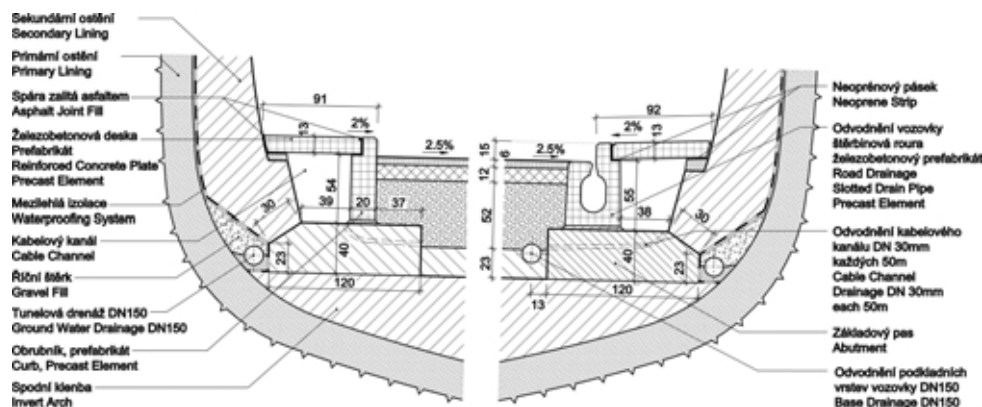
Výsledkem je tunel jednoduché konstrukce, opticky vydařeného vzhledu, nezátěžující okolní prostředí a svou funkcí plně vyhovující danému účelu, navíc pořízený za přiměřené náklady. Na tomto místě se nabízí úvaha, zda by právě tento tunel neměl být příkladem pro nové tunely, které se budou v blízké době realizovat v síti českých a slovenských dálnic, nebo i v jiných zemích, kde je obdobná konfigurace terénu i hospodářská situace, a zda by zkušenosti, získané realizací tunelu Sveti Marko, ať už ze strany zadavatele, nebo zhotovitelů, neměly být v budoucnu uplatněny v praxi i v jiných regionech. Zřejmě nelze pochybovat o tom, že by to bylo jen ku prospěchu věci.

ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ DATA

Název stavby: Tunel Sveti Marko
Umístění: Dálnice Záhřeb – Rijeka, 15 km jihozápadně od města Karlovac
Zadavatel: Institut Građevinarstva Hrvatske d.d.
Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.
Projektant: ILF Consulting Engineers
Zhotovitel: Bau Holding (Strabag/Ilbau Austria) s místními subdodavateli
Délka: levá roura – 265 m, pravá roura – 288 m
Počet jízdních pruhů: 2 + 2
Délka ražená část: levá roura – 243 m, pravá roura – 231 m
Mocnost nadloží: 2 – 22 m
Délka hloubené části: levá roura – 22 m, pravá roura – 57 m
Mocnost přesypu: 1 – 3 m
Náklady na 1 km tunelové roury (stavební část): 19 600 EUR (z toho 1/3 inžektážní deštníky, 1/3 razba a zajištění výrubu a 1/3 sekundární obezdívka a vnitřní konstrukce)
Doba výstavby: 01/99 – 10/99

PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ ČLÁNKU

ILF – Projekt realizace tunelu Sveti Marko
ILF – Dokumentace skutečného provedení tunelu Sveti Marko
ILF – Fotodokumentace výstavby tunelu Sveti Marko



Obr. 13 Příčný řez konstrukcemi nouzových chodníků
Fig. 13 Cross section through the emergency pavement structures

ected to the conductor. The lighting is fed from the niches, by electric lines installed on the lining surface and further placed in a suspended cable tray, in parallel with the lighting line. At the portals, an accommodation illumination is installed in addition to the regular tunnel lighting, making it easier to overcome the shock of the difference in the light intensity outside and inside the tunnel.

CONCLUSION

The Sveti Marko tunnel is a good example of results of the modern tunnelling industry, achieved in a country, which has been considered rather exotic in the tunnelling sphere. This successful breakthrough was possible thanks to the employer trusting the engineering consultant's and main contractor's experience, and owing to the skill of employees of local contractors, who, led by foreign experts, gained a major share of recognition for the successful development of the construction. Although all participants had to face the difficult task of designing and implementing the works in a complex geology, unknown conditions of supplier-customer relations (the participation of local companies in the works was employer's tender condition), and working partially according to unabsorbed and unproven national standards and directives while great stress was placed on both the quality and reasonable cost, all the criteria were successfully met.

The result is a tunnel of a simple design, optically excellent appearance, imposing no burden on the environment, perfectly serving its purpose through its smooth operation, and, in addition, built at a reasonable cost. An idea suggests itself at this place whether just this particular tunnel should not become a paradigm serving for new tunnels to be built in the close future within the network of Czech and Slovak highways, or in other countries where there are similar terrain configuration and economic conditions, and whether the experience gained by constructing the Sveti Marko tunnel, by both the employer and contractors, should not be applied in practice even in other regions. Obviously there is no doubt that this would be beneficial for the things.

BASIC TECHNICAL DATA

Construction name: Sveti Marko Tunnel
Location: Zagreb – Rijeka highway, 15 km south-west from Karlovac
Employer: Institut Građevinarstva Hrvatske d.d.
Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.
Engineering consultant: ILF Consulting Engineers
Contractor: Bau Holding (Strabag/Ilbau Austria) and local subcontractors
Length: left-hand tube – 265 m, right-hand tube – 288 m
Number of lanes: 2+2
Mined part length: left-hand part – 243 m, right-hand part – 231 m
Cover thickness: 2-22 m
Cut-and-cover part length: left-hand tube – 22 m, right-hand tube – 57 m
Backfill thickness: 1-3 m
Cost of 1 km of the tunnel tube (civil part): EUR 19,600.00 (out of that 1/3 for grouting umbrellas, 1/3 for excavation and excavation support, and 1/3 for secondary lining and internal structures)
Construction period: 01/99 – 10/99

SOURCES FOR CREATION OF THE PAPER

ILF – Detailed design of the Sveti Marko tunnel
ILF – As-built documentation of the Sveti Marko tunnel
ILF – Progress photographs of the Sveti Marko tunnel construction