



Ján Kušnir – Michal Gramblička – Otakar Hasík

Železničný tunel Turecký vrch

Railway Tunnel Turecký vrch

Jedným zo strategických cieľov Slovenskej republiky v procese európskej integrácie je napojenie dopravných väzieb Slovenska na európsku dopravnú sieť. Požiadavka modernizácie vybraných železničných tratí ŽSR vychádza z koncepcie európskych dopravných koridorov definovaných na II. Paneurópskej konferencii ministrov dopravy, konanej na Kréte v roku 1994. Nadväzovala na snahy Európskej únie o rozvoj novej železničnej politiky, ktorá by vyjadrovala aj integračné snahy o zjednotenie celého železničného systému, harmonizáciu kvalitatívnych ukazovateľov, zákonných opatrení a zvyšovanie výkonnosti železníc vo všetkých európskych štátoch aj mimo EÚ. Na spomenutej konferencii boli definované dopravné koridory aj v strednej a východnej Európe, z ktorých sa sieť ŽSR týkajú tri. Na jednom z nich, koridore č. V v úseku vetvy A Bratislava – Žilina – Čierna nad Tisou, sa nachádza tunel Turecký vrch.

Zdôvodnenie stavby

Na základné koncepčné súvislosti nadväzuje rozvojový dokument rozhodujúci pre Slovenskú republiku: Dlhodobý program rozvoja železničných ciest, schválený uznesením vlády SR č. 166/93 a aktualizovaný uznesením vlády č. 686/97, v ktorom boli definované základné smery rozvoja železničnej dopravy na Slovensku do roku 2010 a načrtnutý ďalší vývoj. Ako jedna z priorít je stanovená modernizácia železničného koridoru Bratislava – Žilina – Čadca – Skalité – štátna hranica s Poľskou republikou.

Aj stavba ŽSR Modernizácia železničnej trate Nové Mesto nad Váhom – Púchov, žkm 100,500 – 159,100 pre traťovú rýchlosť do 160 km/h je súčasťou uvedených medzinárodných koridorov a vybraného ťahu Bratislava – Žilina – Čadca – Skalité – štátna hranica s Poľskou republikou. Podľa predbežného členenia ide o súčasť koridoru č. V, vetva A2, úsek Nové Mesto nad Váhom – Púchov v dĺžke asi 60 km.

Základné údaje o stavbe

I. etapou stavby ŽSR Modernizácia železničnej trate Nové Mesto nad Váhom – Púchov, žkm 100,500 – 159,100 pre traťovú rýchlosť do 160 km/h je medzistaničný úsek Nové Mesto nad Váhom – Trenčianske Bohuslavice, žkm 100,500 – 105,245. Táto etapa nadväzuje na predchádzajúci II. úsek Trnava – Nové Mesto nad Váhom, ktorý sa končil v železničnej stanici Nové Mesto nad Váhom v žkm 100,500. Koniec I. etapy stavby je pred železničnou stanicou Trenčianske Bohuslavice v žkm 105,245.

Smerovo a výškovo je modernizovaná trať vedená v maximálnej miere na pôvodnom železničnom telese s prihliadnutím na dodržanie požadovaných rýchlostných parametrov, základných podmienok na priechodnosť a priestorovú úpravu podľa STN 73 6201 (najmä vo vzťahu k nadjazdom), ako aj dodržanie požadovanej únosnosti mostov a priepustnosť pre storočné hladiny vody nad vodnými tokmi.

Najvýraznejším prvkom I. etapy stavby je železničný tunel cez Turecký vrch, ktorý bol navrhnutý na dosiahnutie požadovanej rýchlosti

One of the strategic objectives of the Slovak Republic in the process of European integration is connection of Slovak transport communications to the European transport network. A requirement for modernisation of selected railway lines of ŽSR is based upon a concept of the European transport corridors defined at the 2nd Pan-European Conference of Ministers of Transportation that was held on Crete in 1994. It was a continuation of EU efforts for development of new railway policy, which would indicate also integration efforts for union of the whole railway system, harmonisation of quality indicators, legal measures and increase of railway performance in all European countries outside the EU. At the mentioned conference, the transport corridors were defined also in central and Eastern Europe; three corridors relate to ŽSR lines. Tunnel Turecký vrch is located in one of them, in the corridor no. V, in the sector of the branch A Bratislava – Žilina – Čierna nad Tisou.

Reasoning of the project

Decisive development document for the Slovak Republic: Long-term program for development of the railway lines, approved by the government decree no. 166/93 and updated by the government decree no. 686/97, is based upon the basic concept relations. In this document, there were defined the basic directions of the development of railway transport in Slovakia up to 2010 and there was also outlined the following development. Modernization of the railway corridor Bratislava – Žilina – Čadca – Skalité – state border with Poland is determined as one of the main priority.

Also the project of ŽSR, Modernization of railway line Nové Mesto nad Váhom – Púchov, railway kilometre (rkm) 100,500 – 159,100 for line speed up to 160 km/h is a part of mentioned international corridors and the selected line Bratislava – Žilina – Čadca – Skalité – state border with Poland. According to the preliminary classification it is a part of the corridor no. V, branch A2, section Nové Mesto nad Váhom – Púchov with length of approx. 60 km.

Basic data about the construction

The first section of the project ŽSR, Modernization of railway line Nové Mesto nad Váhom – Púchov, rkm 100,500 – 159,100 for line speed up to 160 km/h is the line section Nové Mesto nad Váhom – Trenčianske Bohuslavice, rkm 100,500 – 105,245. The first section is a continuation of the previous 2nd project Trnava – Nové Mesto nad Váhom, which ended in the railway station Nové Mesto nad Váhom in rkm 100,500. The end of the section 1 is in front of the railway station Trenčianske Bohuslavice in rkm 105,245.

Regarding the horizontal and vertical alignment, the modernized line is led in maximal possible volume on the original railway body with consideration of required speed parameters, basic negotiability conditions and spatial arrangement according to STN 73 6201 (mainly with regard to the overbridges) and in order to meet carrying capacity of bridges and throughput above the water courses for hundred-year water levels.



Tunel Turecký vrch v prevádzke
Tunnel Turecký vrch during operation

160 km/h, výhľadovo 190 km/h, pri použití konvenčných súprav bez naklápacej techniky. Dĺžka tunela je 1 775 m (žkm 102,485 – 104,260). Navrhnutá nová trať tu opúšťa pôvodné teleso, pretože bez rozsiahlych nových záberov územia sa nedá realizovať požadovaný rýchlostný parameter.

Základné údaje o tuneli

Tunel prekonáva masív Tureckého vrchu vo dvoch protismerných oblúkoch, približne rovnobežne so smerom štátnej cesty I/61 a ochranej hrádze Biskupického kanála, v smere staničenia novej trate od juhu na sever. Trasa vychádza z veľmi stiesnených pomerov jestvujúceho skalného odrezu pred vjazdovým (južným) portálom s veľmi malým odklonom (maximálne 15°) od prevládajúceho smeru vrstevníc. Železničný dvojkolajový tunel má dĺžku 1 775 m, razená časť je dlhá 1 740 m. Stavba tunela pozostáva z komplexu povrchových (hlbených) a razených (podzemných) stavebných objektov. Súčasťou sú aj zárubné steny pred portálmi.

Technológia výstavby rešpektovala horninové prostredie masívu tvorené veľmi pevnými vápencami a dolomitmi. Projekt navhol uplatniť zásady tzv. Novej rakúskej tunelovacej metódy s použitím rozpojovania hornín pomocou trhacích prác. Zvyšok sa realizoval v otvorených stavebných jamách, presypaných tak, aby sa povrch nad tunelom vrátil v maximálnej miere na pôvodnú úroveň. Technické riešenie rešpektovalo pôvodný charakter prostredia. Návrhom zárubných múrov z opracovaného kameňa na oboch portáloch po vrch klenby tunela a prípravou na ozelenenie na vrchnej úrovni sa vytvorila možnosť na prirodzené rozšírenie prírodného prostredia lesostepi čo najbližšie k železničnej trati.

Razený dvojkolajový železničný tunel je navrhnutý na priečodný prierez UIC C s osovou vzdialenosťou koľají 4 200 mm vo dvoch protismerných oblúkoch R 2 000 m (1 995 m) a medzipriamej pri minimálnych pozdĺžnych sklonoch 3,5 a 4,9 ‰. Požiadavka stavebníka navrhnutý tunel tak, aby bol pripravený na prevádzku súprav dosahujúcich 200 km/h bola splnená tým, že projektant pri posudzovaní návrhu priečného rezu tunela bral do úvahy aerodyna-

The most distinctive element of the section 1 of construction is the railway tunnel through the hill called Turecký vrch, which was designed for reaching the required speed of 160 km/h, with a possibility to reach 190 km/h when using conventional train sets with tilting technology. The length of the tunnel is 1 775 m (rkm 102,485 – 104,260). In this area, the newly designed track leaves the original body, in which there is impossible to perform required speed parameter of the track without new extensive territory utilization.

Basic data about the tunnel

The tunnel runs through the massif of Turecký vrch in two reversed curves, approximately in parallel way with the state road I/61 and with the earth bank of Biskupický kanál, in direction of stationing of the new line from the south to the north. The route comes out from very restricted conditions of existing rocky cut-off in front of entrance (southern) portal with very small diversion (max. 15°) from prevailing direction of level lines. The railway, double track tunnel has a length of 1 775 m, the tunnelled part is of length 1 740 m. The tunnel construction consists of the complex of surface (excavated) and tunnelled (underground) construction objects. It consists also of breast walls in front of portals.

The building technology respected a geological environment of the massif, consisting of very solid limestone and dolomites. The design for construction utilized principles of the New Austrian Tunneling Method for rock disintegration by blasting. The rest of works were performed in opened construction pits by cut-and-cover so that the surface above the tunnel was returned to the original condition in maximal possible scope. The technical solution respected the original character of the environment and by the design of breast walls on both portals of square stone up to the tunnel arch and by preparation for planting of greenery on the upper level, it created a possibility for natural spreading of the natural character of forest environment up to the minimal distance from the railway track.

A driven double-track railway tunnel is designed for the gauge UIC C at axial line distance of 4 200 mm in two reversed curves of R

miku súprav (súčasných aj pripravovaných) a jej akustické účinky na cestujúcich pri rýchlosti dopravy $v = 200$ km/h. Podkladom na návrh bola správa ERRI C 218/DT 368 z júna 1998 o technickom riešení návrhu priečneho rezu železničných tunelov pre uzavreté súpravy pri uvažovaní aerodynamiky (European Rail Research Institute – ERRI).

Vjazdový (južný) portál je umiestnený v nžkm 102,485, výjazdový (severný) v nžkm 104,260. Nadložie v osi tunela dosahuje minimálnu hodnotu v mieste južného razeného portálu, najvyššie je v nžkm 103,500 a dosahuje približne 100 m.

Profil výrubu vrátane nadvýlomov má plochu od 110 do 118 m² (pri použití protiklenby), je široký 13,20 m a vysoký od 8,90 do 10,06 m (s protiklenbou). Tunel sa dispozične pripravil na inštaláciu trakčného vedenia, káblových kanálov, osvetlenia, zabezpečovacieho zariadenia a odvodnenia. Na oboch stranách je komunikačný priestor so šírkou 1 200 mm, umožňujúci únik osôb. V služobných chodníkoch tunela sa nachádzajú potrubia požiarneho vodovodu s nadzemnými hydrantmi umiestnenými vo výklenkoch, umožňujúce napojenie hasičskej hadice pri zásahu v tuneli. Tvar konštrukcie je podkovovitý s kruhovou klenbou, v oblasti portálov a na miestach s výskytom porúch podlažia sa zrealizovala spodná klenba. Železobetónovú konštrukciu tvorí dočasné (primárne) ostenie zo striekaného betónu a trvalé (sekundárne) ostenie z monolitického betónu. Dočasné a trvalé ostenie oddeľuje drenážna medzivrstva tvorená špeciálnou drenážnou fóliou. Odvodnenie tunela je zabezpečené pozdĺžnym sklonom tunelovej rúry. V smere staničenia stúpa 0,489 % od vjazdového portálu až do km 103,500, odkiaľ niveleta klesá 0,350 % na úseku dlhom 700 m do km 104,200 a následne 0,472 % do konca tunela smerom k severnému portálu.

Razená úniková štôľňa umožní cestujúcim opustiť ohrozený priestor železničného tunela, prípadne aj nástup hasičskému záchrannému zboru. Štôľňa je dlhá 240 m a na tunel je napojená v nžkm 103,483. Vyúsťuje v mieste starého nadjazdu v sžkm 104,00. Razená štôľňa má podkovovitý profil s plochým dnom a je vybavená systémom nútenej ventilácie a požiarными dverami.

Prieskum a geologické pomery

Inžinierskogeologický a hydrologický prieskum (IGHP) na mieste tunela vykonala v období január až máj 2003 spoločnosť GEOFOS, s. r. o., Žilina. Predmetom IGHP bolo dokumentovanie vlastností zemín a hornín v podlaží, ako aj výskyt a agresivita podzemnej vody pri pôsobení na konštrukcie z betónu a ocele. V zmysle STN 73 0036 patrí skúmané územie do rájonov s maximálne pozorovanou seizmickou intenzitou 6 – 7° MSK-64.

Výsledkom inžinierskogeologického prieskumu bolo členenie masívu, v ktorom sa tunel razil, na kvázi homogénne bloky, ktoré sa počas razenia stálou službou geotechnického monitoringu priebežne upravovali podľa skutočných podmienok na čelbe.

Tunel sa začal raziť zo severného portálu v komplexe kvartérnych sedimentov eolického a deluviálneho pôvodu. Ich mocnosť sa smerom k svahu zmenšovala. V tomto úseku sa razilo postupne na vertikálne aj horizontálne rozdelené čelbe. Postupne prešlo razenie od dna smerom nahor na celý výrub do zvetraného skalného masívu. Prechodový úsek tvorili v dne a jadre vrstvy dolomitov prekryté súvrstvom vápencov. Okrem niekoľkých zlomov s výškovými posunmi a vplyvu zvetrania sa nič nezvyčajné neobjavilo, predpokladané krasové vplyvy sa zo severnej strany nepotvrдили.

Razenie z južného portálu prebiehalo v kvalitnejších podmienkach, masív tvorili tektonicky porušené vápence, ktorých vlastnosti sa s hĺbkou postupu zlepšovali. Od južného portálu sa v určitých úsekoch pri odkrývaní dna objavili hlboké ryhy vytvorené krasovou činnosťou a vyplnené sedimentmi.

Skalný masív Tureckého vrchu tvorili mezozoické súvrstvia karbonatických hornín (dolomitov a vápencov). Karbonatický masív vrátane zón tektonického porušenia a rozvoľnenia hornín bol minimálne zavodený. V masíve Tureckého vrchu sa nenarazilo na žiadne vývery podzemných vôd ani rozptýlené prítoky. Možno konštatovať, že tunel bol suchý.

2 000 m (1 995 m) and inter-straight at the minimal longitudinal gradients 3,5 and 4,9 %. A requirement of the Employer to design the tunnel the way that it is prepared for operation of the train sets with the speed of 200 km/h was achieved so that the designer considered the design of the tunnel cross-section with consideration of train set aerodynamics (existing and future) and its acoustic impacts on passengers at the transport speed $v = 200$ km/h. A basis for the design was a report ERRI C 218/DT 368 from June 1998, on Technical solution of railway tunnel cross-section design for closed train set with considering the aerodynamics (ERRI – European Rail Research Institute).

The entrance (southern) portal is located in new rkm (nrkm) 102,485, the exit (northern) portal in nrkm 104,260. The overburden in tunnel axis has the minimal value in the area of the southern driven portal, the maximal value is in nrkm 103,500 and it is approximately 100 m.

The profile of excavation including overbreak has a surface from 110 up to 118 m² (when using counter-vault); it is 13,20 m wide and from 8,90 m to 10,06 m high (with counter-vault). The tunnel was prepared for installation of catenary, cable channels, lighting, safety device and drainage. On both sides of the tunnel, there will be installed a communication space with width 1 200 mm that will enable escaping of persons from the tunnel. In the service pavements of the tunnel, there is located piping of fire-fighting main with above ground hydrants located in the niches, which enable connection of the hose for an action in the tunnel. The construction is a horse-shoe shaped with a circular vault; an invert vault was performed in the area of portals and in the area with occurrence of sub-soil defects. Iron concrete construction is created by temporal (primary) lining made of sprayed concrete and by permanent (secondary) lining made of monolithic concrete. Temporal and permanent lining are divided by drainage intermediate layer consisting of special drainage foil. The tunnel drainage is provided by longitudinal gradient of the tunnel tube. In the direction of stationing it rises 0,489 % from the entrance portal up to the km 103,500, then it falls 0,350 % on the length 700 m to km 104,200 and subsequently 0,472 % up to the end of the tunnel towards the northern portal.

Excavated escape tunnel enables passengers to leave an endangered space of the railway tunnel and it also enables entry of the fire-fighting and emergency teams. The escape tunnel has length 240 m, it is connected to the tunnel in nrkm 103,483 and it ends in the area of the old overbridge in old rkm (orkm) 104,00. The excavated escape tunnel is horse-shoe shaped with a flat bottom. The escape tunnel is equipped with a system of forced ventilation and with fire-safety doors.

Survey and geological conditions

Technical-geological and hydrological survey (TGHS) for the tunnel was performed from January to May 2003 by the elaborator GEOFOS, s. r. o., Žilina. The aim of TGHS was to document characteristic of soils and rocks in the sub-soil, as well as occurrence and aggressiveness of the ground water against constructions made of iron concrete and steel. According to STN 73 0036, the examined location belongs to regions with the maximal observed seismic intensity 6 – 7° MSK-64.

The result of the technical-geological survey was division of the massif, in which the tunnel was excavated, into the quasi-homogenous blocks, which were permanently modified during driving by the permanent geotechnical monitoring according to the real conditions at the face.

Beginning of the tunnel driving from the northern portal was in the complex of quaternary sediments of Eolithic and Deluvial origin. Their thickness decreased towards the centre of the massif. In this section, the driving was performed gradually on vertically and horizontally divided face. When driving continued, the whole excavating came into the weathered rock massif. The transition section consists, in the bottom and in the core, of the layers of dolomites covered by the layers of limestone. Except several faults with vertical displacements and influence of weathering, nothing extraordinary occurred. Expected carst influences from the northern side were not confirmed.

Driving from the southern portal was performed in more qualitative conditions; the massif was created by tectonically corrupted limestone, characteristic of which improved with the depth of ap-



Pevná jazdná dráha v tuneli Turecký vrch
Solid track in tunnel Turecký vrch

Nadlošie v osi tunela dosahuje minimálnu hodnotu, asi 3 m v mieste južného razeného portálu (nžkm 102,510), najvyššie je v nžkm 103,500 a dosahuje približne 100 m.

Technické riešenia

Priečny rez tunela

Projektovanie jednotlivých stupňov sprevádzala diskusia o správnej veľkosti tunela. Svetlý profil bol na dané obdobie (rok 2002 – dokumentácia na územné rozhodnutie) navrhnutý pomerne veľkoryso so šírkou 12,2 m a plochou 80,6 m². Osová vzdialenosť koľají sa navrhla na 4,20 m. Väčší profil vychádzal z požiadavky stavebníka (ŽSR), aby bolo výhľadovo možné prevádzkovať súpravy s rýchlosťou až 200 km/h, zatiaľ čo dnešné predpisy umožňujú najvyššiu rýchlosť 160 km/h.

Návrh priečného rezu bol posúdený z hľadiska aerodynamiky a splňal lekárske kritérium maximálnej zmeny tlaku 10 kPa v priebehu jazdy vlaku tunelom a tým aj požiadavky na tlakový komfort cestujúcich vo vnútri vlaku. Vo väčšom profile vzniká aj menší aerodynamický odpor, čím dochádza k nižšej spotrebe energie a je potrebný menší trakčný výkon.

Technické špecifikácie interoperability (TSI SRT)

Rozhodnutím európskej komisie zo dňa 20. decembra 2007 – TSI SRT Bezpečnosť v železničných tuneloch sa stanovujú niektoré záväzné prvky týkajúce sa bezpečnosti. V dvojkolajovom tuneli sú predpísané únikové chodníky na oboch stranách tunela široké najmenej 0,75 m. Vzhľadom na navrhnutú veľkosť priečného rezu sa tieto požiadavky v projekte a následne na stavbe splnili a priečny rez, ako aj ďalšie nadväznosti nebolo potrebné meniť.

proach. Deep grooves created by carst activity and filled with sediments occurred in some sectors during uncovering of the bottom from the southern portal.

The rock massif of Turecký vrch was created by Mesozoic strata of carbonatic rocks (dolomites and limestone). The carbonatic massif, including the zones of tectonic corruption and loosening of the rocks, was minimally watered. In the massif of Turecký vrch, no effluxes of ground water were drilled, nor dispersed influxes. It can be concluded that the tunnel was dry.

The hanging wall in the tunnel axis reaches a minimal value approx. 3 m in the area of the southern driven portal (nrkm 102,510), the highest is in nrkm 103,500 and it reaches the value approx. 100 m.

Technical solutions

Cross-section of the tunnel

Designing during the individual stages was accompanied with the discussion about the right size of the tunnel. The clear cross section with width 12,2 m and surface of 80,6 m² was designed very generously for that period (year 2002 documentation for territorial decision). The axial distance between the lines was proposed to be 4,20 m. The greater profile arose from the Employer's (ŽSR) requirement to enable operation of the train set with speed up to 200 km/h, whereby current regulations enable maximal speed to be 160 km/h.

The design of the cross-section was assessed regarding aerodynamics and it met the medical criteria for the maximal change of pressure 10 kPa during travel in the train and it met also the pressure comfort of the passengers inside the train. In the larger profile, the lower aerodynamic resistance is created, and thus lower energy consumption is achieved and also lower traction performance is needed.

Pevná jazdná dráha

O pevnej jazdnej dráhe (PJD) sa rozhodlo v projekte na stavebné povolenie. PJD má oproti klasickému štrkovému lôžku niekoľko významných pozitív. Je to predovšetkým dlhodobá stabilita koľajníc upevnených v betónovej doske PJD a z toho vyplývajúci minimalizácií udržiavacích prác, ktoré najmä v tuneli znamenajú výluky premávky. PJD umožňuje aj jazdu automobilov, čo je v prípade tunelov vhodné na rýchly zásah jednotiek hasičského a záchranného zboru.

Ďalším prínosom je zníženie konštrukčnej výšky železničného zvršku, čo znižuje plochu nutnú na výrub tunela. Menšia plocha výrubu spoločne s nižšími nákladmi na údržbu znamenajú úsporu celkových investičných nákladov, hoci zriaďovacie náklady na PJD sú asi 1,5-krát vyššie.

Pri realizácii stavby sa zvolil systém PJD RHEDA 2000 s menšou konštrukčnou výškou, ako uvažoval projekt, to však umožnilo zdvihnúť dno tunela až o 400 mm a tým ešte viac zmenšiť výrub.

Vypustenie záchranných výklenkov

Vo všetkých stupňoch projektovej dokumentácie boli navrhované po celej dĺžke tunela záchranné výklenky v ostení tunela po oboch stranách vo vzájomnej vzdialenosti 20 m. Takéto výklenky sa navrhovali od čias Rakúsko-Uhorska a slúžili na prečkanie zamestnanca v tuneli počas prejazdu vlaku. Pri rýchlosti 160 km/h a vyššej už výklenky bezpečnosť nezaistia (tlaková a podtlaková vlna od vlaku by mohla osobu vyťahnuť), a preto je potrebné prehliadky a práce v tuneli zabezpečiť iným spôsobom – organizačne, krátkodobými výlukami.

V priebehu realizácie tunela sa podarilo prerokovať zmenu oproti pôvodnej projektovej dokumentácii a výklenky sa z realizácie vynechali, čím sa podstatne zjednodušila konštrukcia samotného tunela.

Razený tunel

Tunelová rúra razeného úseku má dĺžku 1 740 m (nžkm 102,510 – 104,250) a nadväzujú na ňu hĺbené úseky južného portálu s dĺžkou 25 m a severného portálu s dĺžkou 10 m. V celej dĺžke (až na dve miesta v strede tunela) je použitý jednotný prierez dvojkoľajového tunela. Približne v strede sú zhotovené dve napínacie komory na trakčné vedenie dlhé 10 m.

Uprostred tunela v km 103,483.00 je napojená 244,7 m dlhá razeň úniková štôľňa ústiaca do priestoru bývalého nadjazdu dnes už opustenej cestnej komunikácie cez pôvodnú železničnú trať.

Konštrukcia tunela je dvojplášťová (primárne a sekundárne ostenie) s medzilahlou fóliovou izoláciou, ktorá je chránená pred drsným povrchom primárneho ostenia ochrannou geotextíliou.

Primárne (dočasné) ostenie je zo striekaného betónu C 16/20 s premenlivou hrúbkou 150 až 400 mm. Podľa vstrojovacích tried je okrem betónu tvorené z priehradových oceľových nosníkov, zvaranej siete s rôznym priemerom a rastru, dištančných telies a oceľových, respektíve sklolaminátových svorníkov.

Asymetricky zatažené sekundárne ostenie je z monolitického vystuženého, prípadne nevystuženého betónu C 25/30 – XC1, XF1 – CI 0,20 – D_{max22} – S3 hrubého 300 mm a viac.

Napriek tomu, že sa v projekte uvažovalo použiť vo vápencoch a dolomitoch v priebehu celého tunela ploché dno so základovými pásmi, v odkrytých úsekoch s mohutnými poruchami vyplnenými ílovitou výplňou dĺžky aj viac ako 3 m, bolo potrebné na základe odporúčania geotechnického dozoru doplniť spodné klenby.

Južný (vjazdový) portál

V úseku zárubného múra pred vjazdom do tunela sa nová trasa trate veľmi pomaly odkláňa od starej a vyžaduje si tak skalný odrez v pôvodnom strmom svahu z pevných vápencov. Aj keď bol skalný odrez relatívne stabilný, zárubný múr z kamenného muríva v sklone 5 : 1 zabráni následnej erózii a zvetraniu skalného masívu. Miesta, ktoré boli vo väčšej miere zvetrané, sa zaistili striekaným betónom s oceľovými sieťami a tyčovými svorníkmi. Nad betónovou korunou múra, na ktorej je osadené bezpečnostné zábradlie, sa pôvodný svah spevnil antikorovou sieťou Tecco® s hydrosevom. Nad úrovňou takto spev-

Technical specification of interoperability (TSI SRT)

The decision of the European Commission dated December 20, 2007 – TSI SRT „Safety in railway tunnels“ determines some mandatory safety elements. In the double track tunnel, it prescribes escape pavements on both sides of the tunnel with minimal width 0,75 m. Regarding the designed cross-section size, this requirements was fulfilled in the project and in the construction, so it was not necessary to modify the cross-section or other parameters.

Solid track

A decision regarding the slab track (ST) was made in the project for the building permission. The slab track has in comparison with the classic underlayer of ballast several significant advantages. It is mainly the long-term stability of rails fixed in the concrete slab of the ST and resulting in minimization of maintenance works, which means traffic closure, especially in tunnels. The slab track enables also travel of automobiles, which in case of tunnels enables quick access of fire-fighting and emergency units.

Another advantage is lowering of the constructional depth of the permanent way, which decreases the necessary surface of the excavation of the tunnel. The smaller surface of the excavation, together with lower maintenance costs, means savings of the total investment costs, although first costs for the ST are approximately 1,5 times higher.

For realization of the construction, a system RHEDA 2000 for ST was chosen with smaller constructional depth as considered in the project, which enabled to raise the tunnel bottom by 400 mm and thus even more reduce the excavating.

Omission of safety niches

In all stages of the project documentation, safety niches were designed on the whole length of the tunnel in the tunnel lining on both sides in mutual distance 20 m. Such niches have been designed since Austria-Hungary and they were used by railway employees to wait until train passes by. For train speed of 160 km/h and higher, the niches will not provide safety anymore (shock and vacuum wave from the train could drag out the person) and therefore it is necessary to secure inspections and works in the tunnel by some other means – organisationally, short-term closures.

During realization of the tunnel, a change was made in the original design and the niches were omitted from the realization, by which also the individual design of the tunnel was made simpler.

Driven tunnel

The tunnel tube of the driven section has length 1 740 m (nrkm 102,510 – 104,250) and cut and cover sections of the southern portal with length of 25 m and northern portal with length of 10 m. In the whole length, except two areas in the tunnel centre, unified cross-section of the double track tunnel is used. Approximately in the centre, there are two 10 meters long tension chambers for traction mains.

In the tunnel centre, in rkm 103,483 00, there is connected 244,7 m long escape tunnel ending in the area of the former overbridge of the abandoned road through the original railway track.

The tunnel construction is a two-casing (primary and secondary lining) with the intermediate membrane, which is protected against the rough surface of the primary lining by the protective geo-textile.

The primary (temporal) lining is made of sprayed concrete C 16/20 with varying thickness 150 to 400 mm. According to support classes, it is created, except of concrete, by steel truss girders, welded net of various diameters and raster, spacers and steel or fibreglass laminate bolts.

Asymmetrically loaded secondary lining is made of monolithic reinforced eventually plain concrete C 25/30 – XC1, XF1 – CI 0,20 – D_{max22} – S3 with thickness of 300 mm and more.

Despite the fact that in the design it was considered to use flat bottom with strip foundations in the whole tunnel in limestone and dolomites, it was necessary, in uncovered sections with large defects filled with clay filling with length sometimes over 3 m, to supplement the invert vaults upon recommendation of the geotechnical inspection.



Turecký vrch – severný portál
Turecký vrch – the northern portal



Turecký vrch – južný portál
Turecký vrch – the southern portal

neného svahu sa vybudovala línia ochranných dynamických bariér proti padaniu predovšetkým kamenných blokov do priestoru trate.

Najväčší problém predstavovalo rozpojovanie horniny odrezu v tesnej blízkosti prevádzkovej trate, navyše komplikované úrovňovým železničným prejazdom na stavenisko. Zhotovovateľ si však pri postupnom odťahovaní na úroveň päty zárubného múru erudovane poradil aj bez predpokladaných trhacích prác, len s pomocou rýpadiel a ochranných stien z prefabrikátov. Týmto krokom sa značne zredukoval plánovaný rozsah výluk.

Hĺbený tunel je vybudovaný pomocou kontradebnia a debniaceho vozu vysunutého z tunela v zrezanom tvare s límcom po obvođe. Jeho povrch je sčasti obnažený, chránený striekanou izoláciou na báze živíc a sčasti obetónovaný betónom s malým obsahom cementu (tzv. prostým) s povrchovou úpravou ručne ukladaných drôtokamenných matracov. Ponad hĺbený tunel sa zrealizoval aj kameňom vydláždený rigol na odvedenie povrchových vôd do požiarnej nádrže situovanej v tesnej blízkosti.

Severný (výjazdový) portál

Ako už bolo spomenuté, severný portál sa nachádza v kvartérnych sedimentoch Váhu a potoka Bošáčky, ich mocnosť je viac ako 40 m a zasahuje až pod základové konštrukcie. V strmom portálovom svahu tvorenom prevažne sprašovými hlinami bolo potrebné počítať s možnosťou aktivácie svahových pohybov, čo sa však nepotvrdilo.

V týchto podmienkach bolo náročné zvoliť vhodný postup pri zaistovaní portálovej jamy. Zhotovovateľ nakoniec zvolil racionálny spôsob práce, ktorého podmienkou bolo vytvorenie pracovného priestoru na zaistovanie každej úrovne odkopu a kotvenie. Práce sa začali vybudovaním prístupovej komunikácie na strmý svah tak, aby bolo možné vŕtať a zabudovať prvé mikropilóty stien, pramencové kotvy a tri železobetónové prievlaky. Prievlaky lemujúce terén sa realizovali po častiach a zároveň vytvorili definitívnu stužujúcu korunu portálových stien kotvenú trvalými horninovými kotvami. Výkopy a zaistovanie jamy pokračovali postupne nadol po jednotlivých etážach s výškou asi 3 m až na druhú kotevnú úroveň. Odtiaľ sa vŕtali pilóty severnej a južnej pilótovej steny, ktoré boli kotvené, a medzi nimi sa vybudovala spodná rozperná doska a spodná klenba hĺbeného tunela, obe zo železobetónu. Postup hĺbenia a zaistovania stavebnej jamy bol úzko viazaný za začiatok razby tunela.

Definitívny zárubný múr z betónu C 25/30 lemuje steny jamy. Sklon líca je 5 : 1 a tak ako portálové steny, aj steny jamy sú obložené lomovým kamenným murivom. Koruny sú ukončené rímsami prekryvujúcimi súčasne trvalé prievlaky. Všetky steny portálu sú kotvené v hornej časti trvalými kotvami, z ktorých vybrané sú prispôbené na sledovanie deformácií pomocou dynamometrov.

Portálový blok hĺbeného tunela je ukončený zvislo, časť je obnažená a pokrytá striekanou izoláciou, časť je obetónovaná a obložená kamenným murivom.

Southern (entrance) portal

In the sector of the breast wall before the entrance to the tunnel, the new route of the track slowly turns away from the old one and requires a rocky off-cut in the original steep uphill made of solid limestone. Even if the rocky off-cut was relatively stable, the breast wall made of stone work with the slope 5 : 1 shall prevent erosion and weathering of the rocky massif. Areas that were weathered in greater range were secured by sprayed concrete with steel nets and bar bolts. Above the concrete crown of the wall, on which a safety railing is installed, the original uphill was reinforced by stainless net Tecco® with hydro-seeding. Above the level of the reinforced uphill, a line of protective dynamic barriers against falling of rock blocks onto the track was built.

The main problem was excavation of the cut-off rocks at close nearness of the operated track complicated even more by the level railway crossing to the construction site. The contractor solved this problem professionally by using of excavators and pre-cast protective walls during gradual unloading up to the level of the breast wall base even without expected blasting operations. By this step, the planned traffic closures were significantly reduced.

Cut and cover tunnel is built by means of the lap shuttering and the formwork car shifted from the tunnel in a cut shape with a collar on the circumference. Its surface is partially uncovered protected by sprayed proofing based upon bitumens and partially covered by plain concrete with a surface treatment made of manually placed rock-wire boards. Above the cut and cover tunnel, there is built also a stoned gutter for drainage of surface water into the fire reservoir located in the near distance.

Northern (exit) portal

As mentioned before, the northern portal is in the quaternary sediments of the Váh river and Bošáčka stream, their thickness is more than 40 m and it reaches up to under the foundation structures. In the steep portal uphill created mainly by loess loams, it was necessary to consider the possibility of activation of the uphill movements, but this was not confirmed.

In these conditions, it was difficult to choose the suitable process for securing the portal pit. Finally, the contractor chose a rational method of work, condition of which was creation of working space for securing of each level of excavation and anchoring. The works started with building of the access road to the steep hill in order to be possible to drill out and to install the first micro-piles of walls, strand anchors and three iron concrete girders. The girders edging the terrain were realized in parts and they created a final reinforced crown of the portal walls anchored by the permanent rock anchors. Excavations and securing of the pit continued gradually downwards by the individual etages with height of approx. 3 m up to the second anchoring level. From that, piles of the northern and southern pile walls were bored and anchored and between them a lower spacer

Vybavenie tunela

Súčasťou tunela ako funkčného celku je jeho technologické vybavenie umožňujúce samotnú prevádzku a údržbu a zabezpečujúce bezpečné podmienky pri všetkých stavoch a situáciách, ktoré v ňom môžu nastať. Medzi zrealizované technologické vybavenie tunela patria:

- bezpečnostné držadlá z nehrdzavejúcej ocele umiestnené obojstranne,
- adaptačné osvetlenie, prevádzkové osvetlenie a núdzové LED osvetlenie umiestnené v držadlách, osvetlenie vchodu do únikovej štôlne,
- zásuvkový rozvod pre potreby údržby a zásah bezpečnostných zložiek,
- vyžarovací kábel na šírenie rádiového a telefónneho signálu,
- tlačidlá elektropožiarnej signalizácie,
- líniový požiarň hlásič zrealizovaný na štyroch úrovniach,
- požiarň vodovod s nadzemnými hydrantmi,
- bezpečnostné značenie úniku z tunela,
- kamery sledujúce oblasti portálov tunela a vstup z tunela do únikovej štôlne,
- zariadenie na napájanie trakcie,
- rozvody ukolajnenia trakčného vedenia,
- zabezpečovacie zariadenia (návestidlá, vzdialenostné upozorňovadlá, balízy),
- pretlakové vetranie štôlne atď.

Väčšina zariadení je riadená, respektíve napájaná káblami, ktoré sú umiestnené v chodníkoch v káblových kanáloch. Delia sa v káblových šachtách a k samotným aktívnym prvkom sú vedené v ostení v zabetónovaných chráničkách. Riadiace a napájacie zariadenia sú situované mimo tunela v technologických domčekoch na oboch portáloch.

Prístupové komunikácie

K všetkým vstupom do tunela sa vybudovali prístupové komunikácie slúžiace na údržbu, prevádzku a bezpečnosť tunela. V rámci nich sú vytvorené nástupné plochy v prípade zásahu požiarň a záchranň zložiek.

Záver

Môžeme konštatovať, že projektantovi v spolupráci so zhotovovateľom sa podarilo úspešne navrhnuť a realizovať dielo, ktoré reprezentuje posledné trendy tunelového staviteľstva na železničiach. A nie je to len vďaka stavebnej časti, ku ktorej patria veľkosť tunela na rýchlosť 200 km/h, pevná jazdná dráha, odstránenie záchranň výklenkov atď, ale treba spomenúť aj moderné technologické vybavenie, ku ktorému patrí núdzové osvetlenie umiestnené v antikorových držadlách, požiarň nádrž napájaná priamo zo susediaceho toku, nezavodený požiarň vodovod kombinovaný z HDPE a liatiny alebo požiarne dvere do únikovej štôlne odolávajúce aerodynamickým tlakom.

board and invert vault of cut and cover tunnel were built, both made of reinforced concrete. Process of excavation and securing of the construction pit was closely related to the start of the tunnel boring.

The final breast wall made of concrete C 25/30 edges the pit walls. The slope of the face is 5 : 1 and, similarly as the portal walls, it is tiled with quarry stone. The crowns are finished by edge beams overlapping at the same time also the permanent girders. All portal walls are anchored in the upper part by the permanent anchors, selected ones of which are modified for monitoring of deformations by dynamometers.

The portal block of the cut and cover tunnel is ended vertically, one part is exposed covered with sprayed proofing, the other part is covered with concrete and tiled with stone.

Tunnel equipment

A part of the tunnel as a logical unit is its technological equipment that enables the individual operation and maintenance of the tunnel and also safety conditions in all states and situations which could occur in the tunnel. The following belongs among executed technological equipment of the tunnel:

- safety handles made of stainless steel placed on both sides,
- adaptation lighting, operational lighting and emergency LED lighting installed in the handles, lighting of the entrance to the escape tunnel,
- socket distribution for the needs of the maintenance and operation of safety units,
- radiation cable for spreading radio and telephone signal,
- buttons of electro-fire signalisation,
- line fire alarm installed on 4 levels,
- fire water-supply with above-ground hydrants,
- safety marking for escape from the tunnel,
- cameras recording areas of the tunnel portals and entrance from the tunnel to the escape tunnel,
- device for traction stretching,
- wiring of traction mains earthing,
- interlocking (signalling devices, distance warning devices, balises),
- pressure ventilation of the escape tunnel, and other.

Majority of devices is controlled, or supplied by cables, which are placed in the pavements in the cable channels. They are divided in the cable shafts and they are lead to the individual active elements in the lining in the cable tubes buried in concrete. Control and supply devices are located outside the tunnel, in the technological buildings on the both portals.

Access roads

Access roads are executed to all tunnel entrances. These roads are used for maintenance, operation and safety of the tunnel. Within the access roads, there are created surfaces for operation of fire-fighting and emergency units.

Conclusion

Regarding the construction, we can conclude that the designer together with the contractor successfully designed and constructed piece of work, which represents the last trends in the tunnel building on the railways. This was achieved not only due to the construction part, to which belongs the size of the tunnel for the speed 200 km/h, slab track, tunnel without niches and other, but it is necessary to mention also modern technological equipment, which is represented by the emergency lighting installed in the stainless handles, fire reservoir fed directly from the adjacent stream, unwatered fire water-supply combined with HDPE and cast iron, or fire doors for the escape tunnel that can withstand the aerodynamic pressures.