

Výstavba tunela Bôrik

Jozef Čížik¹ a Anna Garneková²

Construction of tunnel Bôrik

When tunneling engineers talk on NATM, they often mean different things because some of them define it as a special technique, but others as a sort of philosophy. Recently the scene has been complicated by new terms and even alternative names, when discussing certain aspects of NATM.

The NATM integrates the principles of the behaviour of rock masses under load and monitoring the performance of underground construction during construction. The NATM is not a set of specific excavation and support techniques. Based on the computation of the optimal cross section, just a thin shotcrete protection is necessary. Additionally, geotechnical instruments are installed to measure the later deformation of excavation. Therefore a monitoring of the stress distribution within the rock is possible. This monitoring makes the method very flexible, even at surprising changes of the geomechanical rock consistency during the tunneling work.

Key words: geology, primary lining, secondary lining, excavation

Úvod

Portály tunela Bôrik sa nachádzajú v strmých častiach chrbta Bôrika, ktorý má dĺžku 2,5 km, šírku 0,7-1,1 km, max. výšku 922,1 m n. m. a prevýšenie v trase tunela 120 m. Tunel Bôrik je projektovaný s dvomi tunelovými rúrami, každá pre jeden smer dopravy.

Razenie ľavého i pravého tunela Bôrik bolo realizované z časti od západného portálu no hlavne zo strany východného portálu. Pilierová štôlna a obe tunelové rúry sú razené metódou NRTM (nová rakúska tunelovacia metóda), t.j. pomocou vrtno-trhacích prác. Prípadne sarazilo použitím raziaceho stroja s výložníkovou frézou alebo tunelového bagra. Ostenie je teda dvojplášťové, s medziľahlou izoláciou. Raziaci profil sa delí na dve časti v pilierovej štôlni a vo vstrojovacích triedach II. a III. v tuneli, resp. na tri časti pri ostatných triedach tunela.

Geológia tunela

V trase tunela, mimo portálových sú zastúpené prevažne dolomity chočského príkrovu a unzské ílovité bridlice. Odhadovaná mocnosť je 5-10 m. Sklon vrstiev bol odhadnutý 20-30° proti smeru razenia. Vyskytujú sa tam porušené a drvené dolomity a bridlice s hustou sieťou tektonických puklín, prípadne až mylonitizovaný úsek v ohraničujúcom zlome na konci úseku. V portálových úsekoch tunela, hlavne v úseku západného portálu, sa nachádzajú kvartérne sedimenty charakteru zemín (glacifluviálne a deluviálne sedimenty) značnej hrúbky (až 21 m nad niveletou). V ose tunela to predstavuje dĺžku cca 60 - 70 m. Na východnom portáli sa nachádzajú deluviálne sedimenty s hrúbkou až do 1-5 m.

Dolomity majú dobre vyvinuté vrstevné plochy s veľkou priebežnosťou, ktorá obyčajne presahuje rozmery odkryvov. Tieto plochy spôsobujú veľmi hrubolavicovitú (vzdialenosť plôch 0,1-2 m, priemerne 0,92 m) vrstevnatosť, menej často hrubodoskovitú, ktorá vyznieva v rámci odkryvu.

Vrstvy majú len s malými odchýlkami S-J smer so sklonom k východu. Vo východnej časti tunela je tento sklon okolo 20°, v západnej 25-40°. Priemerný smer vrstiev voči ose tunela je 56°. V trase tunela boli zastúpené dva systémy tektonických zlomov.

1. Prvý systém je súbežný s okrajovými zlomami masívu Bôrika, so smermi SZ-JV až SSZ-JJV, v prevahe so strmými sklonmi 50 - 85° k JZ, menej často so sklonom k SV. V trase tunela sa vyskytovali v západnej časti a v okolí východného portálu. Mali charakter zón drvených dolomitov s hrúbkou max. 1-2 m, len výnimočne s brekciovito-ílovitou výplňou (zlom vo vrte S-74 pri povrchu). Ich smer s osou tunela zvierá uhol 60 - 90°.
2. Druhý systém je priečne orientovaný na prvý, so smermi na SV-JZ, v prevahe so strmým sklonom okolo 70° k SZ. V km 0,62 - 0,78 bola zachytená zóna týchto zlomov. Pozdĺž prechodu zlomov cez lunszké ílovité bridlice, bola výplň zlomov prevažne brekciovito-ílovitá. Ich smer s osou tunela je veľmi kosý, a to 10 - 45°, čo je veľmi nepriaznivý moment.

¹ Ing. Jozef Čížik, PhD., Amberg Engineering Slovakia, s.r.o., Záhranická 27, Bratislava

² Ing. Anna Garneková, Amberg Engineering Slovakia, s.r.o., Záhranická 27, Bratislava
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13. 3. 2009)

Hydrogeologické pomery

Dominantné zastúpenie (viac ako 80 %) v trase tunela a jeho okolí majú dolomity chočského príkrovu. Tento komplex sa vyznačuje krasovo-puklinovou priepustnosťou. V strede masívu sa vyskytuje trvalá hladina podzemných vôd pod niveletou tunela. Prienik podzemných vôd do výrubu tunela v celom úseku dolomitov mimo zlomových zón bol minimálny, na úrovni $< 1 \text{ l.s}^{-1}$ vo forme rozptýleného odkvapu. Miera zavodnenia horniny v nadloží bola suchá až mokrá. Úroveň hladiny podzemných vôd je závislá od klimatických vplyvov (maximum v jarných mesiacoch), od stavu krasových ciest (ponory) a hydrogeologického režimu v okolí.

Eluviálne, deluviálne a glacifluviálne sedimenty na svahoch Bôrika sú s ohľadom na ich zloženie priepustné, avšak nie sú zvodnené, pretože dolomitové podložie má krasovo-puklinovú priepustnosť a pôsobí ako drén. Hladina podzemnej vody bola v priestoroch portálov hlboko pod ich niveletou.

Pilierové štôlne

Podľa projektu tunela sa vyrazili dve pilierové štôlne. Zo západného portálu sa vyrazila 120 m dlhá štôľňa (obr. 2) a z východného portálu 61 m dlhá štôľňa (obr. 1). Pre potreby razenia štôľní boli vytýčené vlastné osi štôľní v lokálnom systéme, ktoré tvorili stred jednotlivých tunelových rúr. Pre postup razenia zo západného portálu bola pre prvú etapu razenia vytýčená pomocná os.



Obr. 1. Pilierová štôľňa – ZP.
Fig. 1. Pillar adit – WP.



Obr. 2. Pilierová štôľňa – VP.
Fig. 2. Pillar adit – EP.

Západný portál

Pre prítomnosť pilótovej steny medzi tunelovými rúrami a z dôvodu odsadenia čelných svahov oboch rúr o cca 10 m, na ktorých sa začalo razenie, sa postup razenia pilierovej štôľne rozdelil na tri fázy. V prvej fáze sa začala raziť v mieste začiatku razenia pravej tunelovej rúry v pomocnej osi, ktorá zvierá s osou štôľne 30° uhol. Dĺžka tejto fázy je 14,36 m. Druhá fáza razenia sa začala od staničenia 0,012 421 km v osi štôľne, v dĺžke 9,58 m. Tretia fáza mala zjednotiť postup razenia s postupom budovania stredového piliera. Jej dĺžka je 11 m.

Razenie štôľne od západu prebiehalo v dvoch vystrojovacích triedach. Šesť etáp bolo vyrazených pod mikropilótoým dáždnikom a šesť pod predpažením z ihiel. V priečnom reze bol profil rozdelený na kalotu a lavicu. Raziť sa začalo pod vopred vybudovaným zárodokom.

Východný portál

Štôľňa na východnom portáli sa začala raziť medzi tunelovými rúrami v staničení km 31,071 v osi diaľnice. Razilo sa v šiestich etapách. Prvá etapa bola zrealizovaná pod mikropilótoým dáždnikom a ďalších päť pod predpažením z ihiel. V priečnom reze bol profil rozdelený na kalotu a lavicu. Raziť sa začalo pod vopred vybudovaným zárodokom.

Razenie tunela

Tunel sa začal raziť z oboch portálov. Od východného portálu sa razili dve samostatné tunelové rúry priečne prepojené tromi únikovými chodbami až po staničenie prerážky. Pre pravú tunelovú rúru bola prerážka v km 30,271 793 a pre ľavú v km 30,268 436. Od západu sa razili obe tunelové rúry v celom úseku stredového piliera až po prerážku.

Na základe IG a HG prieskumu sa razenie tunela začlenilo do deviatich vystrojovacích tried podľa SIA 198 a ÖNORM 2203. Dokumentácia zahŕňala kompletný návrh geometrie a kubatúry výrubu, postup a technológiu razenia tunelových rúr a spojovacích chodieb a návrh vystrojovania výrubu pre jednotlivé vystrojovacie triedy (Kušnír, J., Valent, P., 2004).

Postup razenia z východného portálu

Priportálové úseky boli vyrazené pod ochranným dáždnikom zhotoveným z mikropilót. Čelba sa dodatočne spevnila horninovými kotvami. Raziť sa začalo spod vopred vybudovaného zárodku z ocelových nosníkov, výstužných zváraných sietí a striekaného betónu. Zo strany východného portálu (obr. 3, 4) v km 31,072 sa začalo s razením kaloty v oboch tunelových rúrach. S cieľom čo najskôr uzatvoriť profil spodnou klenbou sa z technologického hľadiska v prípustnej vzdialenosti vyrazila lavica a následne aj dno tunela. Po prvej etape razenia pod mikropilótoým dáždnikom sa ďalej razilo vo vystrojovacej triede V-P pod predpažením z ihiel.

Obe tunelové rúry bolo potrebné raziť z dôvodu stability stredového piliera súčasne, resp. s odstupom max. jedného záberu až po koniec telesa stredového piliera v km 31,010 961 v pravej rúre v smere razenia a v km 31,009 309 v ľavej rúre v smere razenia. Následne bolo možné postupovať v oboch rúrach nezávisle až po bod prerážky.



Obr. 3. Začiatok razenia – VP – ľavá tunelová rúra.
Fig. 3. Start of driving – EP – left tunnel tube.



Obr. 4. Začiatok razenia – VP – pravá tunelová rúra.
Fig. 4. Start of driving – EP – left tunnel tube.

Postup razenia zo západného portálu

Raziť sa začalo spod vopred vybudovaného zárodku z ocelových nosníkov (obr. 5, 6), výstužných zváraných sietí a striekaného betónu. Celý úsek pri západnom portáli bol razený v deluviálnych sedimentoch. Ako prvá sa pod mikropilótoým dáždnikom vyrazila kalota ľavej (v smere razenia) tunelovej rúry až po úroveň začiatku razenia kaloty v pravej rúre. Následne sa vyrazili obe rúry z dôvodu stability stredového piliera s odstupom max. jedného záberu až po koniec telesa stredového piliera v km 30,261 422 v pravej rúre v smere razenia a v km 30,258 434 v ľavej rúre v smere razenia. Následne sa postupovalo v oboch rúrach nezávisle až po bod prerážky.



Obr. 5. Začiatok razenia – WP – ľavá tunelová rúra.
Fig. 5. Start of boring – WP – left tunnel tube.



Obr. 6. Začiatok razenia – WP – pravá tunelová rúra.
Fig. 6. Start of boring – WP – left tunnel tube.

S cieľom čo najskôr uzatvoriť profil spodnou klenbou sa z technologického hľadiska v prípustnej vzdialenosti vyrazila lavica a následne aj dno tunela. Od začiatku sa v piatich etapách razilo vo vystrojovacej triede VI a VI-P pod mikropilótoým dáždnikom, ďalej vo vystrojovacej triede V-P pod predpažením z ihliel a vystrojovacej triede IV-P a IV s použitím horninových kotiev.

Primárne ostenie

Primárne ostenie (obr. 7, 8) bolo dimenzované tak, aby spoľahlivo trvalo zabezpečilo stabilitu výrubu tunela. V rámci zabezpečenia výlomu v horninových útvaroch v priortálových častiach a v silne porušených pásmach geologických zlomov boli navrhované technológie na spevnenie a zabezpečenie horninového prostredia ešte pred vlastným výlomom (Vavrek, P., Hamrák, H., 2001).



Obr. 7. Primárne ostenie – VP.
Fig. 7. Primary lining – EP.



Obr. 8. Primárne ostenie – ZP.
Fig. 8. Primary lining – WP.

Izolácia

Hydroizolácia tunela (obr. 9, 10) bola navrhnutá ako medziľahlá, z PE fólie hrúbky min. 2 mm, s ochrannou signálnou vrstvou na lícnej strane. Bola zrealizovaná po celej dĺžke tunela, v priečnom smere po celom obvode okrem dna. Táto fólia bola prichytená pritavením na nastrelené terče z PE. Na strane primárneho ostenia bola fólia chránená proti poškodeniu geotextíliou. Počas razenia sa v úsekoch, kde došlo k vzniku prítokov a priesakov vody do tunela, použila novová izolácia.



Obr. 9. Izolácia – VP.
Fig. 9. Waterproofing layer – EP.



Obr. 10. Izolácia - detail – ZP.
Fig. 10. Waterproofing layer - detail – WP.

Sekundárne ostenie

Sekundárne - definitívne ostenie bolo dimenzované na zaťaženie od vlastnej tiaže, t.j. predpokladala sa spoľahlivosť primárneho ostenia v období požadovanej životnosti tunela (Kušnír, J., Valent, P., 2004). Ak by sa počas výstavby zistila prítomnosť podzemnej vody (agresívnej pre betón), bolo by potrebné sekundárne ostenie dimenzovať na prenos celého zaťaženia horniny. Statická výstuž sekundárneho ostenia sa realizovala vo všetkých blokoch, kde sú výklenky, zárodky únikových chodieb, miesta na inštaláciu

technologických zariadení a do blokov na styku hlbeného tunela s razeným. Definitívne ostenie bolo vyhotovené do posuvného oceľového debnenia (obr. 11, 12), uloženého na vopred realizovaných pätkových oporách. Betonáž bola vykonávaná po úsekoch rovnakej dĺžky - 10 m. V ostení boli zabudované chráničky a priechodky z PE, resp. výklenky pre technologické zariadenia tunela.

Vnútrotná plocha sekundárneho ostenia je rovná a hladká. Prichytenie svietidiel, káblových roštov a signalizačných zariadení do sekundárneho ostenia je realizované pomocou hmoždínok. Štruktúra povrchu a farebnosť sa navrhuje so stredným stupňom remisie (spätný odraz lúčov), to znamená, že povrchy nebudú ani reflexné - aby nedošlo k zrkadleniu povrchu, ani absorpčné - aby nedošlo k prílišnému pohlcovaniu svetla.

Farebná škála bude pozostávať z rôznych stupňov sivej. Vozovka a chodníky budú mať prirodzenú farbu betónu. Bočné steny budú svetlosivej farby, strop tmavosivej farby. Kompletizačné prvky budú zvýraznené príslušnými signálnymi farbami.



Obr. 11. Sekundárne ostenie – VP.

Fig. 11. Secondary lining – EP.



Obr. 12. Sekundárne ostenie – ZP.

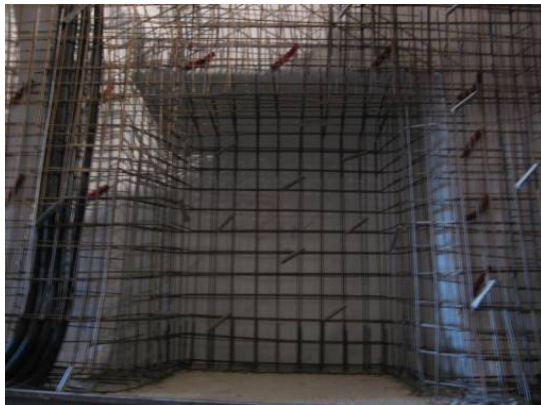
Fig. 12. Secondary lining – WP.

Bezpečnostné a prevádzkové stavebné úpravy v tuneli

Medzi bezpečnostné a prevádzkové stavebné úpravy patrí vyriešenie a vybudovanie protipožiarnych výklenkov (hydranty), SOS výklenkov, čistiacich výklenkov (obr. 13) a únikových chodieb (obr. 14).

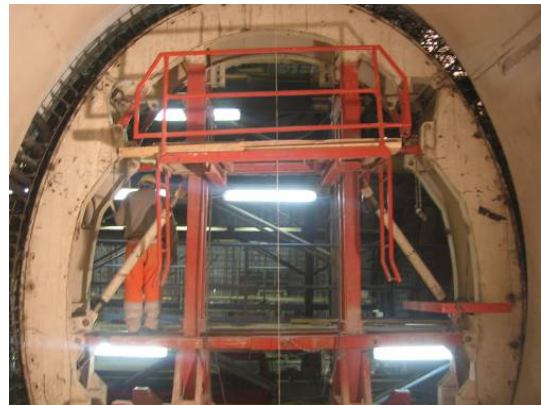
Rozmiestnenie výklenkov v tuneli

Výklenky sa vyrazili vo všetkých rozhodujúcich geologických formáciách. Všetky výklenky sa vyrazili dodatočne až po prerazení tunelových rúr. V oboch tunelových rúrach bol núdzový záliv realizovaný ako jednostranný. V priestore núdzových zálivov bola použitá vystrojovacia trieda III. Pričný rez bol oproti normálnemu zvýšený. Delí sa na sedem častí, tri v kalote, tri v lavici a dno. Postup razenia je od začiatku po koniec v smere razenia tunela od východného portálu. Sekundárne ostenie je vystužené sieťami a priehradovými nosníkmi. Zároveň sa taktiež vystužili čelné steny núdzového zálivu pri prechode z normálneho prierezu do rozšíreného.



Obr. 13. Čistiaci výklenok.

Fig. 13. Cleaning niche.



Obr. 14. Úniková chodba.

Fig. 14. Escape corridor.

Konštrukcia rúr hĺbeného tunela

Konštrukcia hĺbených tunelov bola rozdelená na samostatné bloky dĺžky max. 10 m v osi tunela, ktoré sú číslované v smere staničenia. Jednotlivé bloky sú vždy v smerovom i výškovom vedení priame vytvárajú polygonálnu sústavu sledujúcu zakrivenie pravého či ľavého pásu diaľnice.

Ľavý tunel je v priečnom smere naklonený tak, že os ostenia je kolmá na vozovku, ktorá má v celej jeho dĺžke priečny sklon 2,5 %. Tento priečny sklon má teda i horný povrch základovej dosky všetkých blokov ľavého tunela. V pravom tuneli sa priečny sklon vozovky mení v rozmedzí 2,67 % pri vyústení vozovky z tunela až 2,94 % na styku hĺbenej a razenej časti. Priečny sklon ostenia pravého tunela je navrhnutý na 2,94 %. Navrhuje sa tak preto, aby v tomto prípade nedošlo k vzájomnému pootočeniu ostenia na styku hĺbenej a razenej časti tunela. Tento sklon je rovnaký po celej dĺžke hĺbenej časti, t. j. vo všetkých blokoch. Klopenie vozovky bude vykonané zmenou hrúbky jej spodnej vrstvy v priečnom smere.

Tvar konštrukcie tunelových rúr (obr. 15, 16) je v priečnom reze pre všetky bloky oboch tunelov rovnaký. Konštrukcia ostenia je tvorená základovou doskou hrúbky 800 mm a ostením - klenbou tunela, ktorá má v hornej oblúkovej časti konštantnú hrúbku 450 mm. Vnútorňý tvar ostenia hĺbených tunelov je zhodný s vnútorným tvarom ostenia v razených častiach tunelov. Avšak vzhľadom na zachovanie rovnakých priestorov pod chodníkmi ako v razenej časti je spodná časť ostenia predĺžená o cca 30 mm. Pre vnútorné debnenie hĺbených tunelov bol teda použitý ten istý debniaci voz ako v razenej časti, s malou úpravou spodnej časti.

Portálová časť oboch tunelových rúr je vytvorená zrezaním ostenia. Pri pohľade z boku je vonkajšia hrana priamka, so sklonom 45°, vnútorná hrana vytvára od úrovne začiatku kruhového oblúka klenby krivku, ktorá končí vo vrchole oblúka zvislo pod vonkajšou hranou. Pohľadová plocha zrezaného betónu sa tak plynule natáča z vodorovnej polohy na začiatku oblúka do zvislej polohy v jeho vrchole.



Obr. 15. Hĺbený tunel – VP.

Fig. 15. Cut-and-cover tunnel – EP.



Obr. 16. Hĺbený tunel – VP.

Fig. 16. Cut-and-cover tunnel – EP.

V mieste pracovných škár medzi jednotlivými blokmi bol z vnútornej strany vytvorený jednoduchý lichobežníkový vlys (pohľadový), inak sú tieto pracovné škáry bez zvláštnych úprav. Základová doska i ostenie sú navrhnuté z betónu B30, prútovej výstuže a ocele 10 505. Krytie výstuže bolo 50 mm.

V blokoch ostení sú umiestnené chráničky káblových vedení. Pre vývody káblov sú v ostení v požadovanej polohe zabetónované inštalčné krabice, pre zaústenie chráničiek do káblových šacht boli v ostení vytvorené debnené kapsy. Ako chráničky boli použité flexibilné plastové rúry. Poloha chráničiek bola zabezpečená fixovaním na vnútornú výstuž ostenia.

Hydroizolácia rúr hĺbeného tunela

Na hydroizoláciu železobetónovej konštrukcie oboch tunelov sa použije fólia PVC hrúbky min. 2 mm (obr. 17), ktorá leží medzi dvomi vrstvami geotextílie 500 gr.m⁻². Ochrana izolácie je striekaným betónom hrúbky 100 mm so zváranou sieťou 100/100/4,2 mm. Na zvislé boky je možné použiť aj ochrannú tehlovú primurovku. Zvary jednotlivých pásov izolácie budú vykonané dvojstopovým zvarom. Pre pevné uchytenie geotextílie a fólie na vonkajšej zvislej časti tunelovej konštrukcie sa použijú rovnaké prichytky PVC (s nastrelením) ako v tuneli.

Napojenie na izoláciu z razeného tunela sa zabezpečí nalepením fólie s extrudovaným zvarom na pripravený podklad. Ukončenie izolácie na portáli sa uskutoční jej prichytním hliníkovou lištou 50/3 mm, šikmo po celom obvode tunela v sklone 1:1. Lišta bude prichytená do betónového ostenia

nastrelením a prečnievajúca textília s fóliou bude odrezaná s okrajom lišty. Prekrytie ukončenia vrstiev izolácie je navrhnuté striekaným betónom.



Obr. 17. Hydroizolácia.
Fig. 17. Hydroisolation.

Záver

Tunel je dopravná stavba, ktorá vedie pod zemou naprieč krajinou vyvýšeninou, pod morom, riečnym tokom či mestom. Jeho vhodným umiestnením sa prekonáva celý rad umelých a prírodných prekážok. Zvyčajne slúži pre cestnú, koľajovú alebo pešiu dopravu.

Tunel Bôrik je jeden z mnohých, ktorý patrí do sústavy diaľničnej siete D1 Slovenskej republiky. Dĺžka tunelových rúr predstavuje 999 a 993 metrov. Tunel bol prerazený vo februári 2008. Jeho výstavba bola realizovaná pomocou Novej rakúskej tunelovacej metódy. V súčasnosti prebieha budovanie sekundárneho ostena a technológie.

Literatúra - References

- Kušnír, J., Valent, P.: Diaľnica D1 MENGUSOVCE – JÁNOVCE, *Súhrnná technická správa, Bratislava, 02/2004*.
- Vavrek, P., Hamrák, H.: Tunelárstvo I, *Elfa, Košice 2001*.
- Hatala, J., Trančík, P.: Mechanika hornín a masívu, *Elfa, Košice 1987*.
- <http://www.highways.sk>.
- http://en.wikipedia.org/wiki/New_Austrian_Tunnelling_method.
- <http://rail.sk/skhist/tunely/text/techniky.htm>.