

Posúdenie variant členenia priečného prierezu tunela Bôrik

Pavol Vavrek¹

Analysis of two variants of sequential excavation of a cross section of the Bôrik Tunnel

The Bôrik tunnel has been designed as a double tube tunnel intended for one – way traffic. Both tunnel tubes with the lengths of 999 and 993 meters are mutually interconnected by two escape entries. The Bôrik tunnel is part of the D1 Mengusovce – Jánovce motorway structure. The tunnel goes through sound und semi – rock forquarternary basic (dolomite) und quarternary sediments (in the tunnel portals – glacial und deluvial sediments).

The tunneling project operations were carried out by Geoexperts Firm (fig. 1 - variant No 1). The alternative tunneling project operations were carried out by Profesor Ing. J. Hatala, CSc. (fig. 2 – variant No 2). During excavation of the tunnel a rock pillar of varying thickness is considered. The arbitration oh both variants was realised using mathematical modelling. The mathematic model involves:

- The effect of rock bolts on the stability of the rock massif,
- The influence of shotcrete on the stabilization of the tunnel tubes,
- The effect of the protective umbrella in the portal section,
- relaxation of stresses in the rock massif after partial excavation,
- Time sequence execution of each excavation.

The Mohr – Coulomb constituted model was used in the analysis. On the basis of the analysis using mathematical modelling, it is possible to state that the texcavation of the Bôrik tunnel is better in terms of stress state with variant number one.

Key words: The Bôrik Tunnel, sequential cross section, numerical modelling, stresses state.

Úvod

Tunel Bôrik je súčasťou stavby diaľnica D1 MENGUSOVCE – JÁNOVCE, ktorá sa nachádza v katastrálnom území obcí Lučivná a Mengusovce v okrese Poprad. Je situovaný v rovnomernom zalesnenom horskom chrbte, ktorý je najsevernejším výbežkom Kozích chrbtov. Jeho okolie tvorí mierne zvlnený až rovný reliéf Popradskej kotliny. Západný a východný portál tunela sa nachádza v úpätných častiach horského chrbta Bôrik, ktorý má dĺžku 2,5 km v SZ – JV smere a šírku 0,7 – 1,7 km. Chrbát, s maximálnou výškou 922,1 m, má prevýšenie v trase tunela 120 m. Tunel je projektovaný pre diaľničnú dopravu, a to na plný profil diaľnice s dvoma tunelovými rúrami, každou pre jeden smer dopravy. Osová dĺžka tunelov je 999 m a 993 m, svetlá šírka tunelových rúr je 2x 9,5 m a výška prejazdného prierezu 5,2 m + 0,1 m (Čertík, a kol., 1998).

Inžiniersko – geologické pomery

V trase tunela a jeho okolí sú skalné a poloskalné horniny predkvartérneho podkladu a kvartérne sedimenty. Predkvartérny podklad v prevládajúcej časti dĺžky tunela tvoria skalné horniny, zastúpené dolomitmi chočského príkrovu. Len v úsekoch výskytu zlomových zón a v priortálových úsekoch tunela sa nachádzajú poloskalné horniny (zóna podpovrchového rozvoľnenia a elúvium). K poloskalným horninám patrí aj vrstva lunzských bridlíc s mocnosťou 5 - 10 m. Kvalita horninového prostredia je určená zložením hornín, počtom a veľkosťou diskontinuit a zlomov, ich orientáciou, zvodnením a fyzikálno – mechanickými vlastnosťami.

V portálových úsekoch tunela, hlavne v úseku západného portálu, sa nachádzajú kvartérne sedimenty s vlastnosťami zemín (glacifluviálne a deluviálne sedimenty) so značnou hrúbkou (5 a 15 m), čo v osi tunela predstavuje dĺžku cca 45 m. Na východnom portáli sa nachádzajú deluviálne sedimenty o hrúbke do 5 m.

Zastúpenie hornín

V trase tunela, okrem portálových úsekov (120 m – 13,2%), budú v prevahe zastúpené dolomity (730 m – 80,2%) a lunzské bridlice spolu s dolomitmi (60 m – 6,6%). Dolomity majú svetlosivú a sivú farbu. Podľa chemického zloženia sú to prevažne čisté dolomity, ojedinele vápenaté alebo slabo vápenaté dolomity. Málo sú zastúpené (do 20%) brekciovitité dolomity. Dolomity majú veľmi jemnozrnnú až kalovú štruktúru. Sú prestúpené sieťou mikropuklín, často vyplnených svetlejšim karbonátom, sú to však horniny súdržné a pevné. Dolomity majú dobre vyvinuté plochy, ktoré spôsobujú tenko až veľmi lavicovitú vrstevnatosť, menej často hrubodoskovitú (Čertík a kol., 1998).

¹ Ing. Pavol Vavrek, PhD. Katedra dobývania ložísk a geotechniky F BERG Technickej univerzity v Košiciach, 042 00 Košice, Park Komenského 19
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13.8.2001)

Tektonické pomery

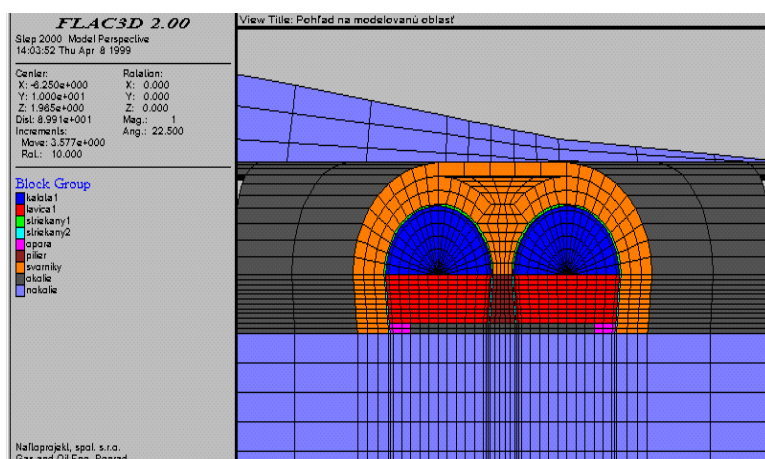
V projektovanej trase sú zastúpené dva systémy tektonických zlomov s rovnakou priestorovou orientáciou a „kvalitou“. Tiež je treba počítať aj s rovnakým zastúpením diskontinuit a ich vplyvom na kvalitu horninového prostredia. Dôležitým faktorom, nepriaznivo ovplyvňujúcim horninové prostredie je skutočnosť, že zlomová zóna bude pretínať tunelovú rúru v dĺžke cca 170 m. Výška nadložia je tu cca 75 – 95 m.

Návrh technológie razenia dvojtunela Bôrik

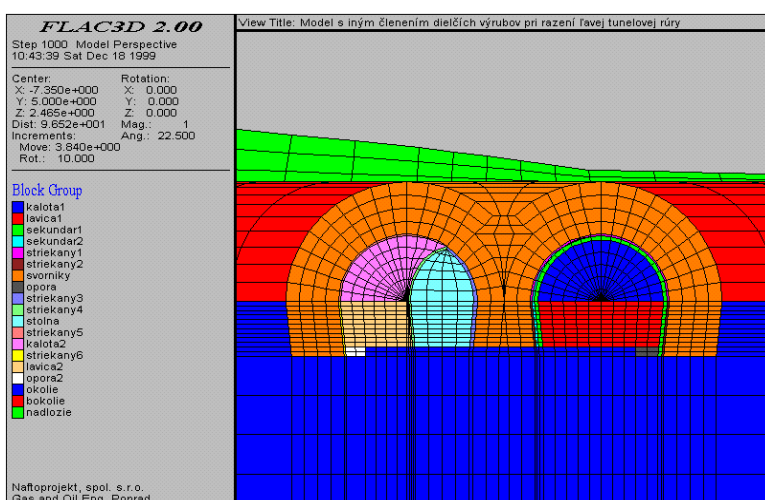
Návrh technológie razenia vypracovala firma GEOEXPERTS, s.r.o., Žilina. Navrhla súčasné razenie obidvoch tunelových rúr ako jednotné staticko – konštrukčné tunelové dielo. Pri návrhu technológie razenia dvojtunela Bôrik sa uvažovalo s viacerými variantami razenia. Keďže tunel je razený v CHKO, pri návrhu technológie musela byť splnená požiadavka investora (SSC) na minimalizáciu záberu pôdy v tejto oblasti, t.j. minimalizáciu hrúbky piliera dvojtunela Bôrik (Bakoš, 1997). V počiatočnom štádiu sa uvažovalo s betónovým pilierom alebo s pilierom zo striekaného betónu. Vzhľadom na niektoré nedostatky pôvodne navrhnutej technológie, bola táto nahradená návrhom, v ktorom sa uvažuje pri razení s ponechávaním horninového piliera variabilnej mocnosti medzi tunelovými rúrami. Mocnosť horninového piliera v strede dvojtunela bude približne 44,5 m. Na východnom aj západnom portáli bude hrúbka stredného horninového piliera cca. 1,8 m. Po asi 80-tich metroch od portálov bude osová vzdialenosť tunelových rúr približne 15,8 m. Pri razení tohto dvojtunela sa počíta s využitím NRTM (Novej rakúskej tunelovacej metódy).

Vlastné posúdenie variantov členenia priečného prierezu tunela Bôrik

Horizontálne členenie čelby (obr. 1) pravej a ľavej tunelovej rúry (ďalej len lavicovanie), ktoré navrhol spracovateľ projektovanej dokumentácie (Bakoš, 1997), bolo zmenené pri spracovaní alternatívneho návrhu razenia (Hatala, 1998) dvojtunela Bôrik s ponechaním horninového piliera na kombinované členenie čelby pri otvorení ľavej tunelovej rúry (obr. 2).



Obr.1. Horizontálne členenie čelby.
Fig.1. Horizontal sequencing of heading.



Obr.2. Kombinované členenie čelby pre ľavú tunelovú rúru.
Fig.2. Combined sequencing of heading for the left tunnel tube.

Tento alternatívny návrh počíta s tým, že po prerazení pravej tunelovej rúry na celú dĺžku a zhotovení sekundárneho (definitívneho) ostenia, sa začne s otvorením ľavej tunelovej rúry razením bočnej štôľne

a následne rozširovaním výlomu ľavej tunelovej rúry na definitívny prierez poberaním kaloty a lavice. Razenie tejto bočnej štôlne sa musí vykonávať mechanizovane (fréza alebo impaktor), kvôli neporušeniu stability horninového piliera seizmickými účinkami trhacích prác. Mechanizované razenie sa musí vykonávať minimálne do staničenia, v ktorom hrúbka piliera dosiahne najmenej 6m (nutné overiť seizmickým monitoringom). V prípade potreby je možné horninový pilier spevňovať z bočnej štôlne samozávrtnými sklolaminátovými injektovateľnými svorníkmi, napr. svorníkmi typu Beltec od firmy Weidmann (to isté platí aj pre lavicovanie pravej a ľavej tunelovej rúry). Tento alternatívny návrh ma voči pôvodnému návrhu tú výhodu, že otváraním ľavej tunelovej rúry bočnou štôľňou voči lavicovaniu sa otvára menší výlom, ktorý je možné zabezpečiť navrhnutým primárnym ostením v kratšej dobe, ako je to pri lavicovaní (otvorí sa kalota na celú šírku tunelovej rúry). V prípade potreby je možné ešte rozdeliť priečny prierez bočnej štôlne na menšie časti (po horizontále). Nevýhodou tohto alternatívneho návrhu je viac dielčích výrubov, čo znamená viac pracovných špár, väčšie preskupovanie napätí, ako aj väčšia spotreba výstužných prvkov (dočasné istenie ľavej stany bočnej štôlne svorníkmi, striekaným betónom, mrežovinou, priehradovými konštrukciami).

Pri modelovaní siete priestorových prvkov bola vymedzená oblasť v tvare hranola, ktorá zasahuje do dostatočne veľkej vzdialenosti od tunelovej rúry. Pre prípad relatívne nízkeho nadložia je modelovaná jeho skutočná veľkosť, čo platí čiastočne aj pre túto úlohu. Vyššie prekrytie je modelované dodatočným zaťažením povrchu modelu. Tvar siete rešpektuje tvar a hrúbku navrhnutého primárneho ostena, veľkosť prekotvených zón a zohľadňuje jednotlivé fázy pracovného postupu pri razení a vystrojovaní tunela.

Veľkosť modelu: v smere osi x - 50 m,
v smere osi y - 20 m,
v smere osi z - závislá od topografie povrchu.

Veľkosť modelu v smere osi y zohľadňuje tú skutočnosť, že pri rozsiahlych modeloch by riešenie úlohy trvalo veľmi dlho. (Riešenie tejto úlohy programom FLAC^{3D} pre vyššie uvedené rozmery modelu trvalo necelých 6 dní.)

Okrajové podmienky

Okrajové podmienky sú stanovené nasledujúcim spôsobom:

- na spodnej vodorovnej strane modelovanej oblasti je zabránené posunu v smere osi z,
- na bočných zvislých stranách modelovanej oblasti je zabránené posunom v smere osí x a y.

V tab. 1 sú uvedené parametre vstupných charakteristík pre modelovanú oblasť, pre materiály použité v modeli.

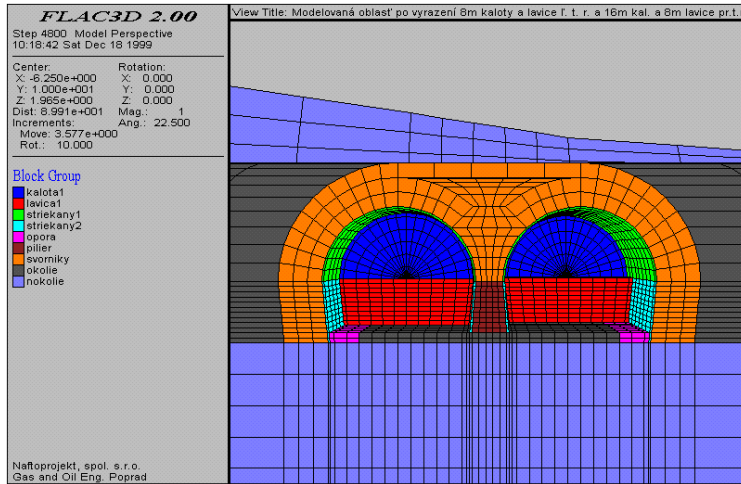
Tab.1. Vlastnosti zložiek modelu.
Tab.1. Properties of the element model.

Materiál	ρ_0 [kg.m ⁻³]	E [MPa]	μ [-]
Hornina	2 300	100	0,30
Striekaný betón	2 200	19 000	0,20
Prekotvená oblasť	2 500	500	0,30
Preinjektovaná oblasť	2 500	2 000	0,25

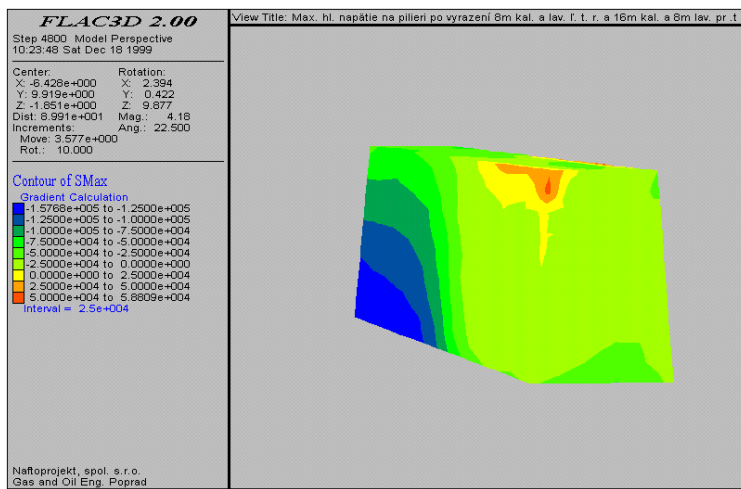
Model zohľadňuje

- spevňujúci vplyv svorníkov na stabilitu presvorníkovanvej oblasti (uvažuje sa so zabudovaním svorníkov až u prekrytia tunela nad 5 m),
- vplyv striekaného betónu na stabilizáciu výlomu tunelových rúr a stabilizáciu horninového piliera,
- vplyv ochranného dáždika, ktorého pôsobenie v portálovej oblasti sa simuluje zvýšením hodnôt pretvárných charakteristík injektovaných hornín,
- pracovný postup pri razení tunela a členenie priečného profilu na jednotlivé časti výrubu podľa dodaného rezu 5-5',
- relaxáciu napätí v horninovom masive pri vykonávaní dielčích záberov pri razení v kalote a lavici, uvažuje sa 30% relaxácia napätí oproti primárnemu stavu napätí modelovanej oblasti,
- časovú postupnosť vykonávania jednotlivých záberov v kalote a lavici pravej a ľavej tunelovej rúry.

Pre definovanie vlastností modelu a jeho zložiek som použil Mohr – Coulombov konštitučný model. Kvôli rozsiahlosti výstupov uvádzam pre ilustráciu len fázu výlomu ľavej a pravej tunelovej rúry pre horizontálne delenie čelby (obr. 3), kde kalota pravej tunelovej rúry je vyrazená na dĺžku 16 m a kalota ľavej tunelovej rúry je vyrazená na dĺžku 8 m. Tejto fáze výlomu odpovedá veľkosť maximálnych hlavných napätí na pilieri, znázornených na obr. 4 pre horizontálne členenie čelby.



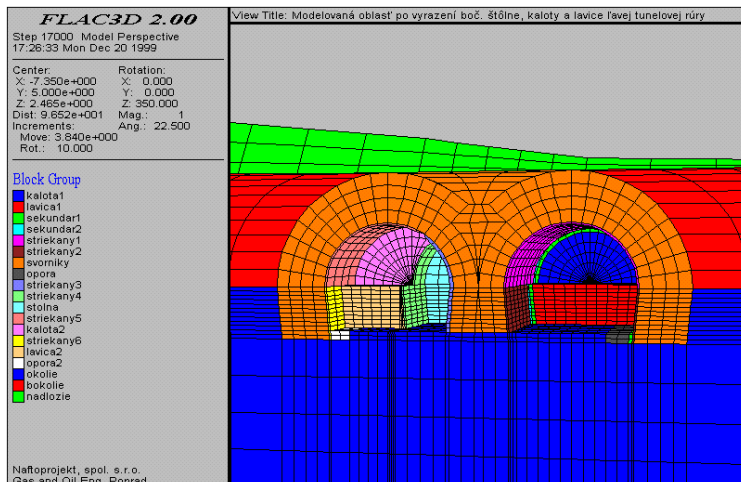
Obr.3. Horizontálne členenie čelby – vyrazená pravá aj ľavá tunelová rúra.
Fig.3. Horizontal sequencing of heading – excavated the right and left tunnel tube.



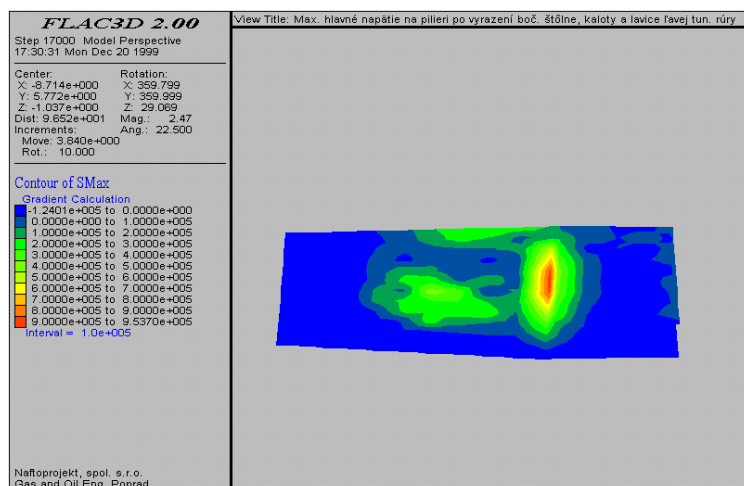
Obr.4. Maximálne hlavné napätia na pilieri pre horizontálne členenie čelby.
Fig.4. Maximum principal stresses on the pillar for the horizontal sequencing of heading.

Konečnou fázou razenia, ktorú som modelovaním zachytil, je fáza výlomu lavice ľavej tunelovej rúry, pričom dielčí výlom bočnej štôľne a kaloty ľavej tunelovej rúry je už vykonaný (obr. 5). V tejto fáze razenia je možné najvierohodnejšie porovnávanie napätovo – deformačného stavu horninového piliera pre obidva riešené varianty, vzhľadom nato, že výlom pravej a ľavej tunelovej rúry je už skoro ukončený a pilier je zaťažovaný v oboch variantoch rovnako.

Fáza výlomu, zachytenej na obr. 5, zodpovedá veľkosť maximálnych hlavných napätí na pilieri, znázornených na obr. 6. Pre horizontálne delenie čelby ľavej a pravej tunelovej rúry vzniká na horninovom pilieri maximálne tlakové napätie 0,157 MPa a mala zóna ťahových napätí o veľkosti 0,058 MPa. Prevládajúcim napätím je tlakové napätie, v rozsahu 0,025 – 0,075 MPa.



Obr. 5: Kombinované členenie čelby – vyrazená bočná štôľňa, kalota a lavica ľavej tunelovej rúry
Fig.5. Combined sequencing of heading – excavated side gallery, top heading and bench of the left tunnel tube.



Obr.6. Maximálne hlavné napätia na pilieri pre kombinované delenie čelby.

Fig.6. Maximum principal stresses on the pillar for the combined sequencing of heading.

Pre kombinované delenie čelby ľavej tunelovej rúry vzniká na horninovom pilieri maximálne tlakové napätie 0,124 MPa a zóna ťahových napätí s maximálnou veľkosťou 0,953 MPa. Koncentrácia týchto napätí sa sústreďuje na prednú bočnú hranu piliera. Prevládajúcim napätím je tlakové napätie.

Záver

Porovnaním veľkosti maximálnych hlavných napätí, vznikajúcich na horninovom pilieri pre obidva posudzované varianty, možno konštatovať:

- prevládajúcim napätím na horninovom pilieri je tlakové napätie v oboch posudzovaných variantoch,
- maximálna veľkosť tlakových napätí pre obidva varianty je približne rovnaká (0,157 MPa – 0,124 MPa),
- vzniká nerovnomernejší vývoj napätí pre druhý posudzovaný variant,
- maximum ťahových napätí pre druhý variant je väčšie o 0,895 MPa ako pre prvý variant,
- vzniká väčší rozsah zóny ťahových napätí pre druhý variant.

Na základe výsledkov matematického modelovania možno konštatovať, že razenie dvojtunela Bôrik prvým variantom (lavícovaním) je z napätového hľadiska výhodnejšie, ako razenie druhým posudzovaným variantom (alternatívny návrh razenia).

Literatúra

- BAKOŠ, M.: Návrh technológie razenia tunela Bôrik, Geoexperts spol. s.r.o. Žilina, 1997.
- ČERTÍK, P., VODANSKÝ, A.: Koncepcia riešenia diaľničného tunela Bôrik. Tunely 98. 1. Medzinárodná výstava a sympóziu výstavby podzemných objektov. Žilina, jún 1998, s. 150–160.
- HATALA, J.: Návrh alternatívnej technológie razenia tunela Bôrik. Expertízna správa, Košice, 1998.
- ITASCA CONSULTING GROUP, INC.: Uživatelský popis systému FLAC^{3D}, USA, 1997.