

TUNEL POĽANA – RAŽBA A PRIMÁRNE OSTENIE

POĽANA TUNNEL – EXCAVATION AND PRIMARY LINING

Ján Papcún¹

ABSTRAKT

Tunel Poľana je budovaný v rámci výstavby diaľnice D3 Svrčinovec - Skalité.

Stavba je realizovaná na polovičný profil, čo znamená, že v pravom páse diaľnice sa buduje tunel kategórie 2T – 8,0 podľa STN 73 7507 s dočasnou obojsmernou prevádzkou. Návrhová rýchlosť je 80 km/h. V ľavom páse sa buduje úniková štôľňa (v minulosti už bolo cca 300 m štôľne vyrazených ako prieskumná štôľňa). Tá sa v budúcnosti prebuduje na ľavú tunelovú rúru. Súčasťou tunela budú aj tri priečne prepojenia medzi pravou tunelovou rúrou (PTR) a únikovou štôľňou, ktoré slúžia ako únikové cesty.

ABSTRACT

The Poľana tunnel is being built within the framework of the development of the Svrčinovec – Skalité section of the Slovak D3 motorway.

The half-profile construction is being realised, which means that a 2T - 8.0- category tunnel to STN 73 7507 standard with temporary traffic in it will be built for the right-hand part of the dual carriageway. The design speed is 80km/h. An escape gallery will be built along the left-hand part of the dual carriageway (the excavation of about 300m of the gallery was completed in the past as an exploratory gallery). The gallery will be converted into the left-hand tunnel tube in the future. Three cross passages between the right-hand tunnel tube (the RTT) and the escape gallery, which will serve as escape routes, will be parts of the tunnel.

1 Úvod

Diaľnica D3 Svrčinovec – Skalité (obr. 1) má celkovú dĺžku 12,282 km (v ose diaľnice). Je umiestnená v Žilinskom kraji, v okrese Čadca. Prechádza katastrálnymi územiami obcí Svrčinovec, Čierne a Skalité.

Stavbu diaľnice realizuje „Združenie D3 Svrčinovec – Skalité“, tvorené spoločnosťami Metrostav a.s., Váhostav-SK a.s, Doprastav, a.s. a Strabag s.r.o. Zhotoviteľom tunelu Poľana je tzv. „malé“ združenie spoločností Metrostav a.s. a Doprastav, a.s.

Investorom a budúcim prevádzkovateľom diaľnice je NDS, a.s. (Národná diaľničná spoločnosť). Projektantom tunelu je spoločnosť Basler&Hofmann Slovakia s.r.o.

Stavba sa zhotovuje v zmysle zmluvných podmienok FIDIC („žltý FIDIC“ alebo „žltá kniha“).

Pravá tunelová rúra meria 898 m, z toho dĺžka razenej časti je 860,60 m. Zbytok tvoria hĺbené tunely na východnom a západnom portáli.

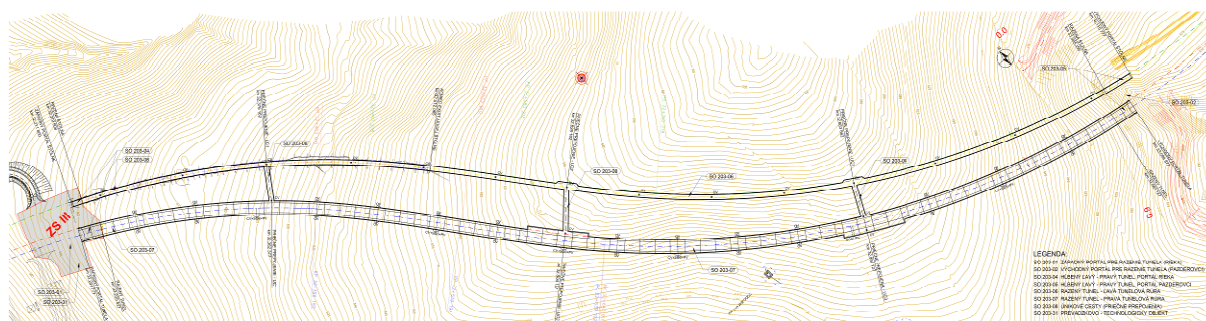
Smerom od západného portálu k východnému tunel stúpa v sklone 2 %. Osa únikovej štôľne je smerovo i výškovo súbežná s osou budúcej ľavej tunelovej rúry a je odsadená o 2,4 m smerom k PTR. Výškovo je v celej dĺžke znížená o 0,15 m.

¹Ing. Ján Papcún, Metrostav a.s., Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8, e-mail: jan.papcun@metrostav.cz



Obr. 1 Situačná schéma diaľnice D3 Svrčinovec-Skalitz
Fig. 1 D3 Svrčinovec-Skalitz motorway

V tuneli budú vybudované 2 núdzové zálivy dĺžky 50 m (1x na ľavej a 1x na pravej strane). Na pravej strane v smere staničenia (t.z. od západu k východu) budú umiestnené požiarne hydranty, SOS výklenky a čistiace výklenky. Pôdorys PTR, štôľne a priečných prepojení je znázornený na obr. 2.



Obr. 2 Pôdorys tunela a štôľne
Fig. 2 Tunnel and gallery plan

2 Geologické a hydrogeologické pomery

Na skladbe masívu v trase tunela Poľana sa podieľajú sedimenty paleogénu zastúpené ílovcami a pieskovecami, s prevahou ílovcov, ktoré sú prekryté rôzne silnou vrstvou kvartérnych deluviálnych sedimentov.

Súbor spevnených paleogénnych sedimentov vytvára hydrogeologický masív bez významnejších súvislých hydrogeologických kolektorov vrstevnatého typu s obehom podzemnej vody prevažne v povrchovej zóne a pásmach puklinového a tektonického porušenia. Kvartérne sedimenty nevytvárajú významnejší hydrogeologický celok. Sú zastúpené svahovými deluviálnymi sedimentmi. Pre svoju malú mocnosť a charakter zloženia tvoria spolu so zónou rozložených hornín jednotné zvodnené prostredie.

Prienik podzemných vôd do výrubu tunela sa predpokladá v zónach silno tektonicky porušených hornín.

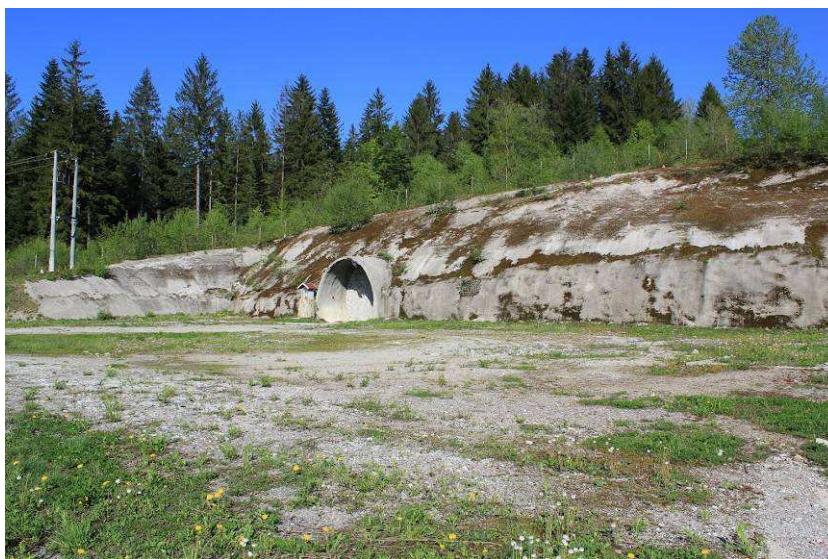
3 Přípravná fáza

Pred zahájením samotnej ražby bolo potrebné urobiť terénne úpravy a zaistiť portály na východnej a západnej strane tunela.

Ako prvé začali koncom marca 2014 práce na západnom portáli. Prebudoval sa pôvodný portál, zriadený pre ražbu prieskumnej štoly v roku 2006 (obr. 3). Ten sa celý odkopal a zbúrala sa i časť štôlne v dĺžke cca 11 m.

Pohľad na západný portál po jeho dokončení je na obr. 4 (vpravo PTR, vľavo úniková štôlna). Pred zahájením samotnej ražby sa nad klenbou PTR vybudoval ochranný dáždnik z mikropilót 114/6,3 mm dĺžky 20,0 m.

Práce na západnom portáli prebiehali až do konca júla 2014. Ešte pred jeho úplným dokončením bola zahájená ražba PTR.



Obr. 3 Pohľad na pôvodný západný portál
Fig. 3 View of the original western portal



Obr.4 Pohľad na dokončený západný portál
Fig. 4 View of the completed western portal

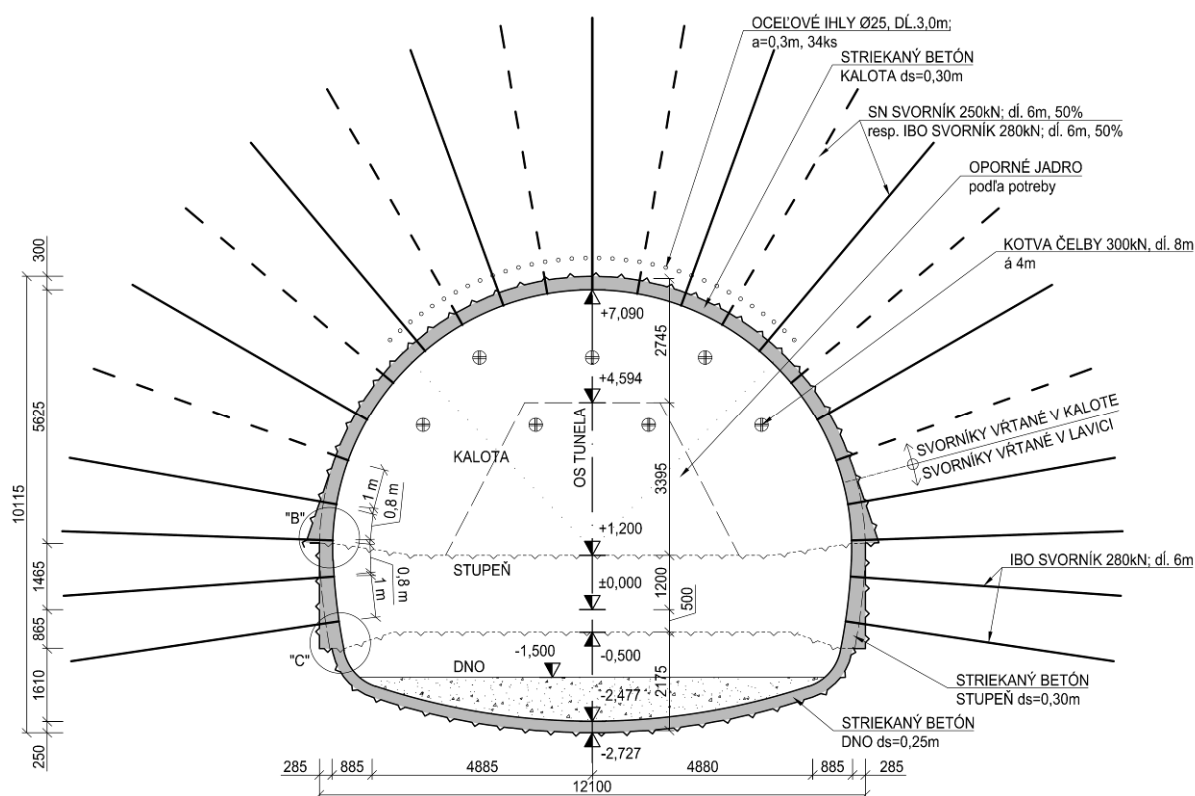
V polovici júla sa rozbehli hrubé terénne práce a zabezpečenie svahov na východnom portále. Hlavným problémom pri zaist'ovaní východného portálu bol prístup k nemu. Na rozdiel od portálu západného, kde už existovala prístupová komunikácia (vybudovaná pre ražbu prieskumnej štôlne), bolo potrebné v náročných terénnych podmienkach zriadiť provizórnu prístupovú cestu. Ďalším problémom boli klimatické podmienky. Časté privalové dažde výrazným spôsobom komplikovali zemné práce pri prehĺbovaní stavebnej jamy a hlavne pri odvoze vykopaného materiálu z portálu. Zemina sa neustále nasycovala vodou a dochádzalo aj k zosuvu svahu. Práce na portále boli ukončené na konci októbra 2014.

4 Ražba PTR

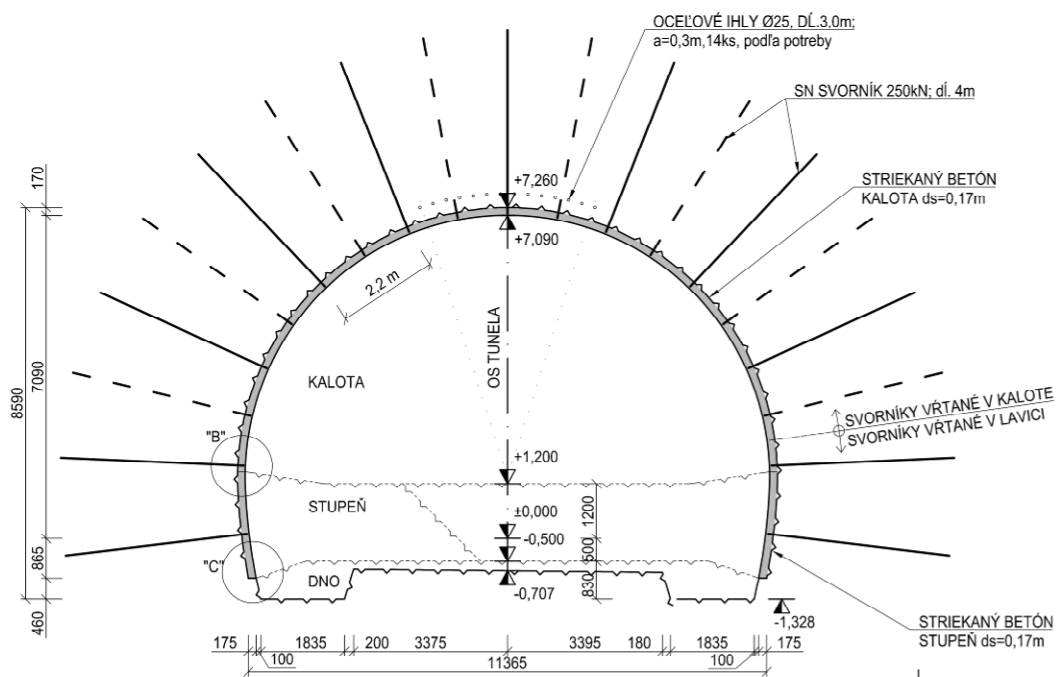
Ako už bolo spomenuté, dĺžka razenej časti tunela v ose je 860,60 m. Tunel sa nachádza v nadmorskej výške cca 600 m n. m. Maximálna výška nadložia činí približne 72 m. Nad tunelom ani v blízkosti portálov sa nenachádza žiadna povrchová zástavba. Ražba prebiehala za použitia technológie NRTM.

Predpokladané horninové pomery sa klasifikovali podľa *TP 06-1/2006 Podzemné stavby, Časť 1: Cyklické razenie, vystrojovacie triedy* do nasledujúcich vystrojovacích tried (VT) výrubu: 4, 5/1, 5/2, 6/1, 6/2, 7/1, 7/2, 7/3, 5/1 NZ (núdzový záliv), 5/2 NZ, 6/1 NZ, 6/2 NZ a 7 NZ.

Profil tunela PTR vrátane núdzových zálivov bol horizontálne členený na kalotu, stupeň a dno resp. spodnú klenbu (obr. 5, 6 a 7). Každá z týchto troch častí sa razila samostatne.



Obr. 5 Vzorový priečny rez VT 7_2
Fig. 5 Typical cross-section for ESC 7/2



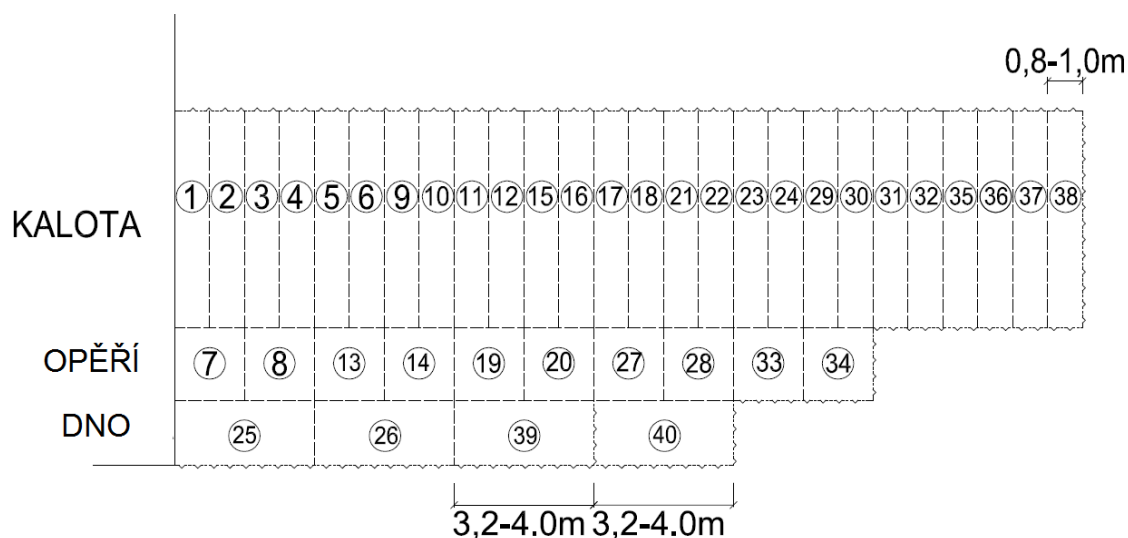
Obr.6 Vzorový priečný rez VT 4
Fig. 6 Typical cross-section for ESC 4



Obr.7 Zástrek spodnej klenby SB (na obr. je vidieť horizontálne členenie výrubu)
Fig. 7 Applying shotcrete to invert (the horizontal excavation sequence can be seen in the picture)

Vzájomné odstupy čelieb medzi kalotou, stupňom a dnom ako i dĺžky záberov záviseli od danej vystrojovacej triedy. Na obr. 8 je znázornený príklad postupu ražby vo VT 7/2. Dĺžky záberov pre jednotlivé vystrojovacie triedy sú uvedené v tab. 1.

Plocha výrubu tunela bola závislá na vystrojovacej triede. V kalote bola cca 58 m², v stupni 22 m² a v protiklenbe 20 m². V miestach núdzového zálivu mala kalota plochu 82 m², stupeň 27 m² a protiklenba 34 m². Rozpojovanie horniny bolo buď strojné alebo pomocou trhacích prác.



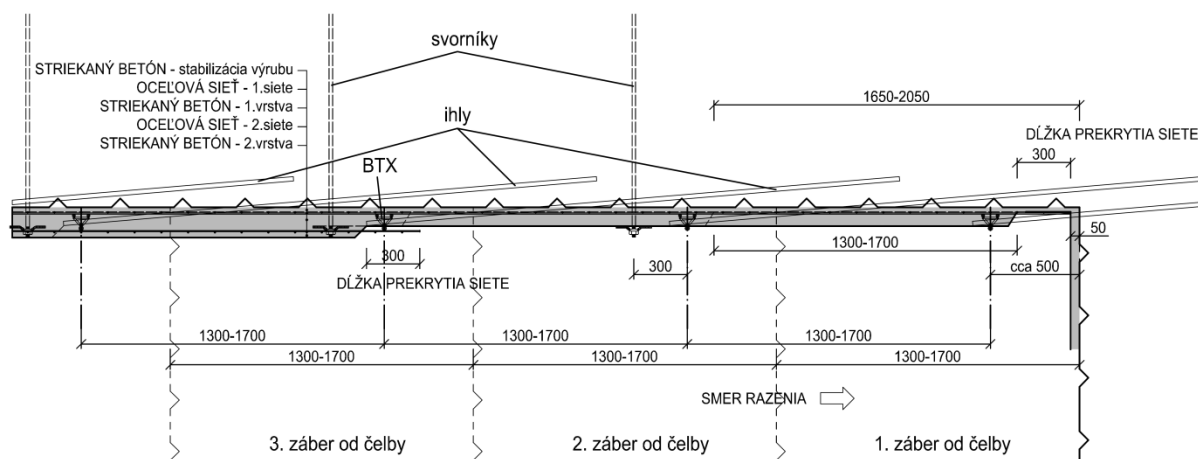
Obr. 8 Postup ražieb vo VT 7_2
Fig. 8 Excavation procedure for ESC VT 7/2

Tabuľka 1 Dĺžky záberov jednotlivých VT
Table 1 Lengths of excavation rounds for individual excavation support classes

Vystrojovacia trieda	Kalota	Stupeň	Dno
VT 4	1,7-2,2 m	3,4-4,4 m	max. 20 m
VT 5/1	1,3-1,7 m	2,6-3,4 m	max. 10 m
VT 5/2	1,3-1,7 m	2,6-3,4 m	max. 10 m
VT 6/1	1,0-1,3 m	2,0-2,6 m	4,0-5,2 m
VT 6/2	1,0-1,3 m	2,0-2,6 m	4,0-5,2 m
VT 7/1	0,8-1,0 m	1,6-2,0 m	3,2-4,0 m
VT 7/2	0,8-1,0 m	0,8-1,0 m	1,6-2,0 m
VT 7/3	0,8-1,0 m	1,6-2,0 m	1,6-2,0 m
VT 5/1 – NZ	1,3-1,7 m	2,6-3,4 m	max. 15 m
VT 5/2 – NZ	1,3-1,7 m	2,6-3,4 m	max. 15 m
VT 6/1 – NZ	1,0-1,3 m	2,0-2,6 m	4,0-5,2 m
VT 6/2 – NZ	1,0-1,3 m	2,0-2,6 m	4,0-5,2 m
VT 7 – NZ	0,8-1,0 m	1,6-2,0 m	3,2-4,0 m

5 Primárne ostenie

Konštrukcia primárneho ostenia pozostáva z oceľových sietí, priehradovej výstuže typu BTX, striekaného betónu (SB) a systémového kotvenia. V prípade nestabilných horninových podmienok sa pred budovaním primárneho ostenia aplikovali opatrenia pre stabilizáciu klenby výrubu a prípadne i zaistenia hornej časti čelby v ploche kaloty (dáždniky z IBO svorníkov, ihľovanie). Na obr. 9 je znázornený vzorový rez primárnym ostením (pre VT 5/1). Ihneď po vyrazení záberu v dielčej časti čelby tunelu (kalota, stupeň, dno či protiklenba) sa muselo zhotoviť primárne ostenie podľa navrhutej triedy výrubu.



Obr. 9 Pozdĺžny rez primárnym ostením (VT 5_1)

Fig. 9 Longitudinal section through primary lining (ESC 5/1)

Pre primárne ostenie bol navrhnutý striekaný betón triedy C20/25. Nástrek SB sa realizoval tzv. mokrou cestou. Ako prísada urýchľujúca tuhnutie SB sa používala MasterRoc SA 183 firmy BASF. Hrúbka primárneho ostenia sa pohybovala v rozmedzí od 170 mm do 300 mm (podľa VT).

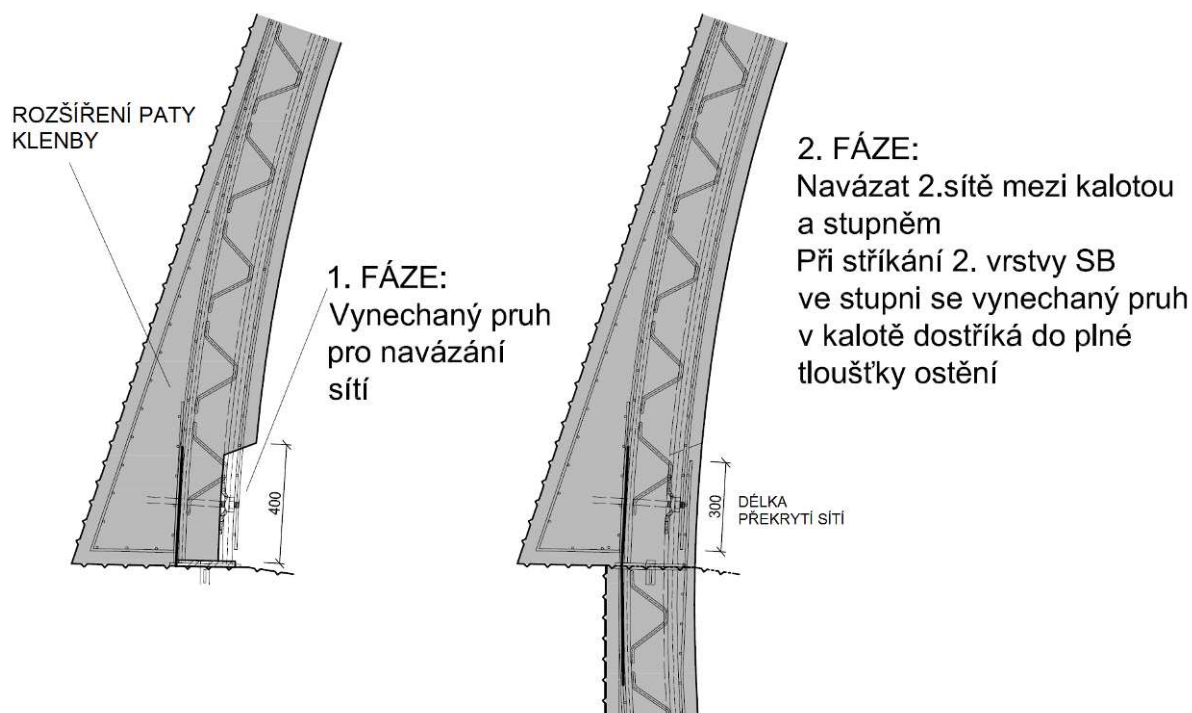
Výstuž v striekanom betóne bola navrhnutá modifikovane podľa VT zo zvaraných oceľových sietí Ø6-150x150 mm, Ø8-150x150 mm a Ø8-100x100 mm. Veľkosť presahu sietí činila min. 300 mm v pozdĺžnom i priečnom smere. Siete sa ukladali v jednej alebo dvoch vrstvách, podľa príslušnej vystrojovacej triedy. Napojenie prvých sietí (vonkajších) medzi kalotou a stupňom (resp. medzi stupňom a dnom) sa vykonávalo pomocou stykovacích prútov – tzv. "vylamovákov". Ide o oceľový profil Ø8 mm, dĺžky 800 mm a tvaru L. Tieto prvky sa pri montáži prvej vrstvy sietí kaloty (resp. stupňa) priviažu viazacím drôtom na každý zvislý drôt výstužnej siete a ich vodorovná časť sa ochráni zásypom pred zastrekaním. Pri osadzovaní vonkajších sietí stupňa (resp. dna) sa tieto prvky narovnajú a použijú k napojeniu.

Napojenie druhých sietí (vnútorných) bolo realizované ich nezastrekaním v dĺžke presahu tak, aby bolo možné po vyrazení nasledujúceho dielčieho výrubu previesť napojenie nadväzujúcich sietí a ich následné zastrekanie SB (obr. 10).

Pre primárne ostenie kaloty a stupňa boli navrhnuté oblúkové priehradové oceľové rámy (BTX), ktoré sa osadzovali v každom zábere. V protiklenbe se BTX neosadzovali. V pozdĺžnom smere sa rámy stabilizovali pomocou oceľových rozpiniek a celý oblúk je fixovaný k vonkajšej vrstve kari sietí.

Pre jednotlivé vystrojovacie triedy bolo navrhnuté systémové kotvenie. Navrhnuté typy a dĺžky kotiev sa odlišujú u VT podľa predpokladaných geologických podmienok. V miestach s mierne tektonicky narušenou skalnou horninou sa navrhli horninové kotvy typu SN dĺžky 4 až 6 m. V miestach porúch, alebo pri výskyte silno tektonicky narušených skalných hornín sa navrhli samozávrtné svorníky typu IBO R32 dĺžky 6 m.

V miestach porúch, alebo v miestach so silno tektonicky narušenou skalnou horninou sa v príslušných vystrojovacích triedach navrhlo predstihové zaistenie horniny nad klenbou. Oceľové ihly alebo samozávrtné svorníky sa osadzovali v klenbe kaloty vždy pred výrubom ďalšieho záberu. Použili sa oceľové ihly priemeru 25 mm a dĺžky 3,0 m a 4,0 m alebo samozávrtné svorníky IBO R51L dĺžky 9 m. Ihly sa osadili väčšinou nasucho bez zaplnenia vrtu cementovou zmesou. Svorníky IBO R 51L sa použili v úsekoch, kde dochádzalo k okamžitému zavalovaniu vrtov a stabilizovali sa injektážou cementovej suspenzie.



Obr. 10 Napojenie 2. sietí (vnútorných) medzi kalotou a stupňom
Fig. 10 Splicing of the inner layer of mesh between top heading and bench

Príklad postupu vybudovania primárneho ostenia (vo VT 5/1) bol nasledujúci:

Postup prác v kalote:

1. realizácia vrtovej a osadenie oceľových ihliel Ø25 dl. 3 m;
2. výlom kaloty: dĺžka záberu 1,3 až 1,7 m (navrtanie čelby podľa vrtného schématu, nabíjanie vývrtov, trhacie práce);
3. odvetranie pracoviska na čelbe tunelu, odťazba rúbaniny, strojné dočistenie výlomu;
4. zaistenie výrubu kaloty primárnym ostiením:
 - a) v prvom zábere od čelby:
 - nástrek líca výrubu stabilizačnou vrstvou zo SB hr. 25 mm a stabilizácia plochy čelby SB hr. 50 mm podľa potreby;
 - osadenie vonkajších oceľových sietí (1. siete);
 - osadenie oceľového priehradového rámu (BTX);
 - aplikácia striekaného betónu hr. 80 mm (1. vrstva).
 - b) v druhom zábere od čelby:
 - realizácia vrtovej, ich vyplnenie cementovou zmesou a osadenie svorníkov typu SN
 - c) v treťom zábere od čelby:
 - osadenie vnútorných oceľových sietí (2. siete);
 - dostriekanie SB na finálnu hrúbku 170 mm (2. vrstva).

Postup prác v stupni:

1. odstup stupňa od kaloty max. 50 m;
2. výlom stupňa: dĺžka záberu 2,6 až 3,4 m-dvojnásobok záberu výrubu v kalote (očistenie a navrtanie čelby, nabíjanie, trhacie práce);
3. odvetranie pracoviska a odťazenie rúbaniny, strojné dočistenie výrubu;
4. zaistenie výrubu stupňa:
 - a) v prvom zábere od čelby:
 - zaistenie výrubu stabilizačnou vrstvou zo SB tl. 25 mm podľa potreby;

- osadenie vonkajších oceľových sietí (1. sieť);
 - osadenie oceľového priehradového rámu (BTX);
 - aplikácia striekaného betónu hr. 80 mm (1. vrstva).
- b) v druhom zábere od čelby:
- realizácia vrstev, ich vyplnenie cementovou zmesou a osadenie svorníkov typu SN.
- c) v treťom zábere od čelby:
- osadenie vnútorných oceľových sietí (2. sieť);
 - dostriekanie SB na finálnu hrúbku 170 mm (2. vrstva).

Postup prác v dne:

1. odstup dna od stupňa bez obmedzenia;
2. výlom dna: dĺžka max. 10 m;
3. ochrana dna betónom C 16/20.

6 Strojná zostava

Dôležitou súčasťou metódy NRTM sú strojné mechanizmy. Tabuľka 2 uvádza strojné a elektrické zariadenia použité pri ražbe tunelu Poľana.

Tabuľka 2 Strojná zostava
Table 2 Mechanical equipment set

Zařízení	Typ	Použití
vrtní vůz	Atlas Copco Rocket Boomer L2C	vrtání vývrtů
pásové rýpadlo	Liebherr R 944 C Tunel Litronic	rozpojování, nakládání
bourací kladivo	Krupp HM 100 V	rozpojování horniny
kolesový traktor	JCB 4 CX + bourací kladivo	rozpojování, nakládání
kolesový nakladač	VOLVO L 180 F	nakládání, doprava
damper	VOLVO A25D	odvoz rúbaniny
pístový manipulátor	Meyco Potenza, Suprema	Stříkání betonu
kolesová plošina	Atlas- Copco DC 16/HL	manipulace, montáže
Injektační čerpadlo	IBO REP	injektáž svorníků, jehel
ponorné čerpadlo	Flyght KDFU	odvodnění pracoviště
ventilátory	Korfmann	odvětrání tunelu
trafostanice		el. energie
kompresor	kontejnerový	stlačený vzduch
autodomíchač	dodávateľ betonu	transport betonu

7 Geotechnický monitoring

Ako už býva štandardom, aj na tejto stavbe prebiehal geotechnický monitoring podľa vopred pripraveného projektu a jeho výsledky boli k dispozícii všetkým zainteresovaným stranám. Na základe týchto výsledkov mohli zúčastnení operatívne reagovať a v mnohých prípadoch nastaviť postup razenia podľa momentálnej geologickej situácie. Tá sa v tomto prostredí mení pomaly každým záberom, preto interpretácia a aplikácia výsledkov si vyžiadali každodenné konzultácie medzi geológmi, zhotoviteľom a stavebným dozorom. To následne prispelo k prijatiu opatrení na zvýšenie bezpečnosti a optimalizáciu pracovných postupov.

Činnosti monitorovania, ktoré boli vykonávané počas razenia tunela:

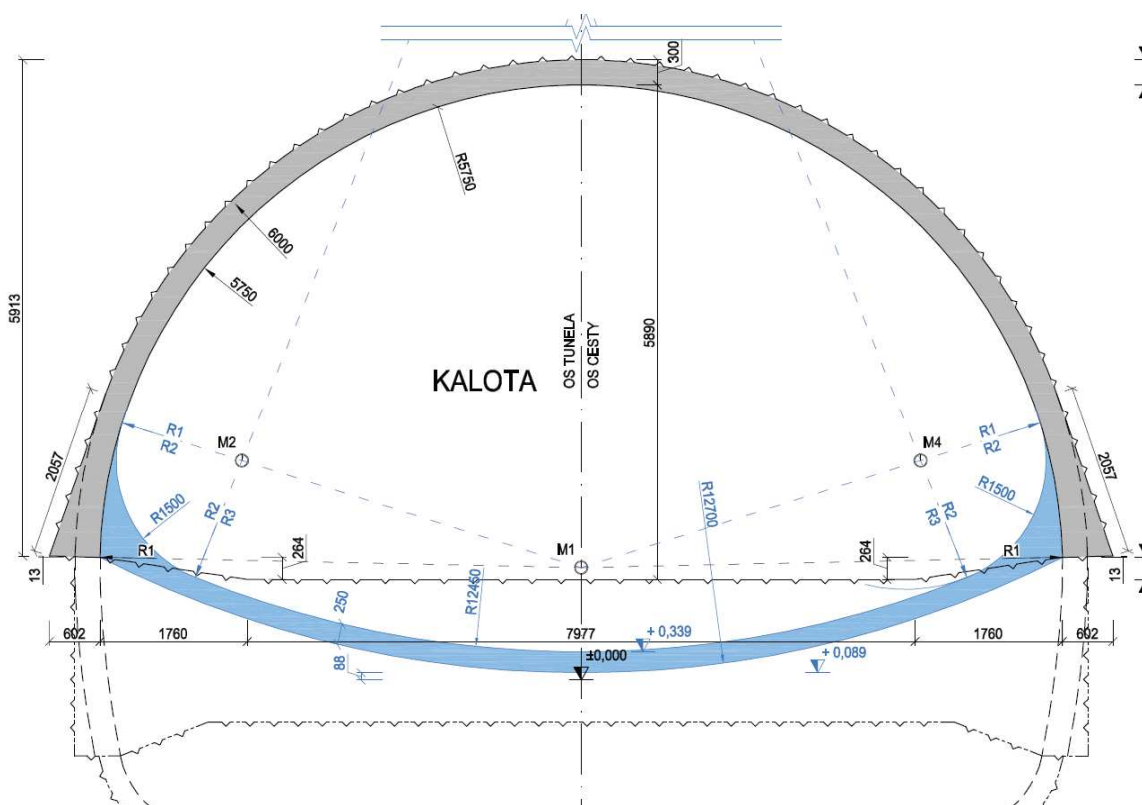
- meranie deformácií na povrchu, vývoj poklesovej kotliny v priečnom smere a sledovanie deformácií portálových stien pomocou stabilizovaných nivelačných bodov na povrchu terénu;
- meranie deformácií výrubu;
- meranie deformácií v zóne vplyvu výrubu a sledovanie stability svahu – inklinometrické merania vo vrtoch;
- meranie stupňa rozvoľnenia horniny v okolí výrubu – extenzometrické merania z povrchu;
- meranie napätí na kontakte horniny a primárneho ostenia s použitím tlakomerných krabíc;
- meranie napätí v betóne primárneho ostenia;
- inžinierskogeologické sledovanie razenia, vrátane hydromonitoringu;
- systematická kontrola a dozor v priebehu razenia;
- sledovanie skutočného výrubu a nadvýlomov.

8 Záver

Ražba PTT začala 1. júla 2014 dovrchne zo západného portálu. Po začatí razenia sa zistilo, že geotechnické podmienky skutočne zastihnuté v tuneli sú odlišné od predpokladaných. To malo za následok, že razenie prebiehalo vo vystrojovacích triedach, ktoré boli účinné na zabezpečenie stability horninového prostredia, ale zároveň boli časovo náročné. Po vyrazení kaloty sa s malým odstupom ihneď prechádzalo k uzatváraniu stupňa a dna, a pre zabezpečenie klenby sa používali 9 m dlhé samozavrtávacie ihly R51 v každom piatom zábere. Mesačný razičský postup bol cca 20 m v plnom profile s protiklenbou. V tomto prostredí nebola ideálna ani stabilita čelby, ktorá sa musela pravidelne počas otvárania okamžite stabilizovať ochranným nástrekom zo striekaného betónu. Pravidelne vznikali aj geologické nadvýlomy, z nich najväčší mal 50 m³. Aj ten sa podarilo stabilizovať ochranným nástrekom po tenkých vrstvách a postupnom vytvorení plomby z KARI sietí a striekaného betónu. Na záver sa problematické miesto prikotvilo samozávrtnými svorníkmi. Komplikovaný začiatok razenia prinútil zhotoviteľa upraviť projekčné riešenie, ktoré sa opieralo o sledovanie konvergenčných meraní. Ako vhodné riešenie sa ukázalo doplniť ďalšiu vystrojovaciu triedu 6/8,83 (projekčné označenie 6/3), ktoré vzniklo kombináciou VT 6/2 a VT 7/2. Ponechala sa hrúbka ostenia a dáždnik zo samozavrtávacích ihliel R51 (každý 4. záber) v prípade potreby, ale zároveň sa predĺžila dĺžka záberu na 1,3 m a odstup kaloty od stupňa mohol narásť na počiatočných 50 m, a ďalším vývojom pri stabilizovanom ostení na 120 m. Tieto úpravy pomohli zrýchliť postup razenia, najlepší výkon sa priblížil k 100 m kaloty za mesiac a zároveň umožnili pracovať na razení stupňa.

Aby sa minimalizovali resp. zmiernili časové straty spôsobené ražbou v náročných geologických podmienkach, muselo sa pristúpiť k zahájeniu ražby z východného portálu (protiražba). Tá bola zahájená 15. 5. 2015.

K výraznejším komplikáciám pri ražbe došlo v rozmedzí t.m. 490-535 (pri ražbe zo záp. portálu). Hodnoty konvergenčných meraní dosiahli varovné stavy. Bola zastavená ražba a pristúpilo sa k dokotvovaniu primárneho ostenia v zmienenom úseku. V kalote sa navrátili radiálne svorníky dl. 8 m v počte 4 ks na ľavú i pravú stranu. Zahájila sa ražba stupňa a postupne sa v problematickej zóne uzatváral profil (ražba dna). Ďalším opatrením bolo zriaďovanie dočasnej protiklenby v kalote (obr. 11). Tá sa realizovala až do t.m. 608, t.z. v celkovej dĺžke 73 m. Tieto opatrenia sa ukázali ako účinné a ďalšia ražba už nepriniesla výraznejšie komplikácie.



Obr. 11 Kalota s dočasnou protiklenbou
Fig. 11 Top heading with temporary invert

Ražba kaloty bola ukončená zo západného portálu 4. 8. 2015 a celkovo sa z neho vyrazilo 173 m. V dobe písania tohto článku (koniec októbra) sa realizovali posledné razičské práce na dne tunela, ktoré ukončili etapu ražieb v tuneli Poľana.

9 Zoznam použitej literatúry

- [1] Zwilling, Róbert. Technická správa - SO 203-07 Razený tunel – PTR, časť 01. Primárne ostenie. Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 04/ 2014, 17 s.
- [2] Ing. Róbert Zwilling, Technická správa - SO 203-01 Západný portál pre razenie tunela, časť 01. Hrubé terénne úpravy, Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 01/ 2014, 10 s.
- [3] Ing. Róbert Zwilling, Technická správa - SO 203-02 Východný portál pre razenie tunela, časť 01. Hrubé terénne úpravy, Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 06/ 2014, 11 s.
- [4] Ing. Martin Tomeček, Technická správa - SO 203-56 Geotechnický monitoring, Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 02/ 2014, 28 s.
- [5] Súťažné podklady: Diaľnica D3 Svrčinovec – Skalité, Národná diaľničná spoločnosť, a.s.
- [6] ŽÁČIK, M. ĎURŠA, V. Skúsenosti s razením tunelov Poľana a Laliki v karpatskom flyši. Tunel, 2015, roč. 24, č. 3, s. 26–33