

NÁVRH KONŠTRUKCIE PRIMÁRNEHO A SEKUNDÁRNEHO OSTENIA DIAŇNIČNÉHO TUNELA PREŠOV

DESIGN OF THE STRUCTURES OF PRIMARY AND SECONDARY LINING OF THE MOTORWAY TUNNEL PREŠOV

Roman Šály¹
Mária Šamová²
Miloslav Frankovský³
Filip Jiříčný⁴

ABSTRAKT

Tunel Prešov, dĺžky 2,3 km, je súčasťou úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Tunel bude razený v prostredí ílovcov a pieskovecov flyšového súvrstvia. Pre výstavbu tunela bude použité konvenčné razenie podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy. Príspevok popisuje návrh konštrukcií primárneho a sekundárneho ostenia, vrátane niektorých prvkov doposiaľ na Slovensku nepoužitých.

ABSTRACT

Tunnel Prešov with a length of 2,3 km is a part of highway section D1 Prešov západ – Prešov juh. Tunnel will be excavated through the claystones and sandstones of flysh group of strata. Conventional excavation according to principles of new Austrian tunneling method will be used for the construction. Contribution describes design of the construction of primary and secondary lining including some elements which have not been used in Slovakia.

1 Úvod

Tunel Prešov bude súčasťou úseku diaľnice D1 Prešov západ - Prešov juh, ktorá zabezpečí diaľničný obchvat mesta Prešov zo západnej strany. Diaľničný úsek D1 Prešov západ – Prešov juh s celkovou dĺžkou 7,870 km nadväzuje na predchádzajúci úsek diaľnice D1 Svinia - Prešov v križovatke Vydumanec. Na východnej strane navrhovaný úsek končí v mieste križovatky Petrovany, kde sa diaľnica napája na existujúce diaľničné spojenie Prešov – Košice. Územné rozhodnutie na diaľničný úsek s tunelom bolo vydané v roku 2009 na základe dokumentácie pre územné rozhodnutie spracovanej v roku 2008. Technické riešenie tunela bolo spracované v súlade s vtedy platnými predpismi na navrhovanie tunelov. Stavebné povolenie bolo vydané začiatkom roku 2015 na základe dokumentácie pre stavebné povolenie spracovanej v roku 2013.

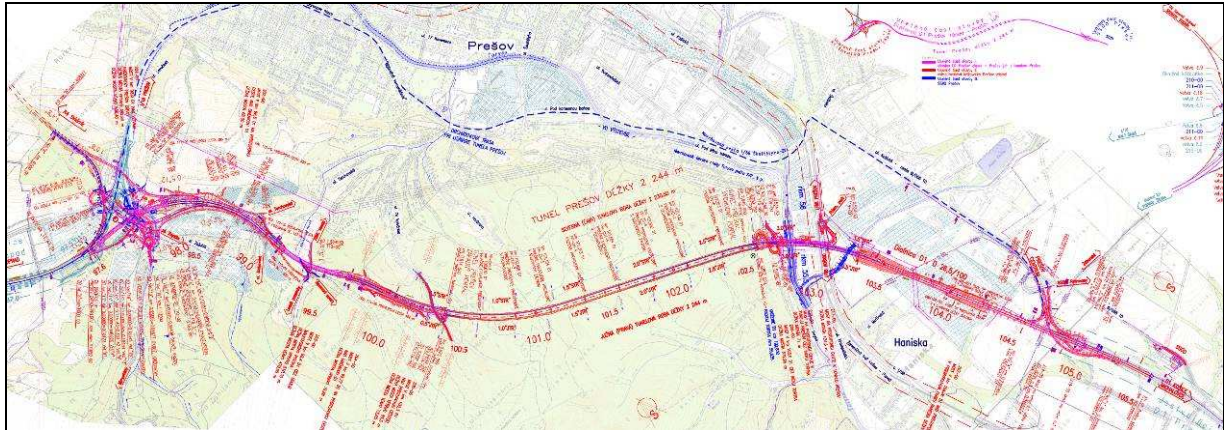
¹Ing. Roman Šály, Terraprojekt a.s., Podunajská 24, 821 06 Bratislava, Slovensko, tel.: +421/02/45523771-4, e-mail: saly@terraprojekt.sk

²Ing. Mária Šamová, PhD., Terraprojekt a.s., Podunajská 24, 821 06 Bratislava, Slovensko, tel.: +421/02/45523771-4, e-mail: samova@terraprojekt.sk

³Ing. Miloslav Frankovský, Terraprojekt a.s., Podunajská 24, 821 06 Bratislava, Slovensko, tel.: +421/02/45523771-4, e-mail: frankovsky@terraprojekt.sk

⁴Ing. Filip Jiříčný, ILF Consulting Engineers s r.o., Jirsíkova 5, 186 08 Praha, Česká republika, tel.: +420/2/25091420, e-mail: filip.jiricny@ilf.com

Dokumentácia pre realizáciu stavby bola spracovaná v priebehu roku 2014. V súčasnosti prebieha verejná súťaž na zhotoviteľa stavby. Plánovaný začiatok výstavby je rok 2015. Vzhľadom na nové znenie viacerých technických predpisov pre navrhovanie tunelov boli už v dokumentácii pre stavebné povolenie modifikované viaceré základné návrhové prvky tunela Prešov, predovšetkým jeho bezpečnostné stavebné prvky, ale aj niektoré časti technologického vybavenia ako napríklad vetranie.



Obr.1 Poloha tunela Prešov na diaľničnom úseku
Fig. 1 The Location of Tunnel Prešov on the Motorway section

2 Základné parametre tunela

Doprava bude v tuneli vedená dvomi tunelovými rúrami – severnou (ľavou) tunelovou rúrou (STR) a južnou (pravou) tunelovou rúrou (JTR). Vzdialenosť medzi osami oboch tunelových rúr je po dĺžke tunela premenlivá a dosahuje maximálnu hodnotu cca 40 m.

Základné parametre diaľnice a tunela sú nasledovné:

Kategória diaľnice:	D 26,5/100
Šírková kategória tunela podľa STN 73 7507	2T 7,5
Druh tunela podľa dĺžky:	Stredný tunel
Počet tunelových rúr:	2
Dĺžka tunela:	2230,5 m (STR) 2244 m (JTR)
Počet jazdných pruhov:	2
Šírka vozovky medzi obrubníkmi:	7,5 m
Šírka núdzového chodníka:	2 x 1,00 m
Výška prejazdneho prierezu:	4,80 m
Pozdĺžny sklon:	2,80 %
Spôsob prevádzky:	jednosmerná
Vetranie:	pozdĺžne
Návrhová rýchlosť:	100 km/h
Najvyššia dovolená rýchlosť:	100 km/h
Dopravná prognóza 2025:	14 234 voz/24 h
Dopravná prognóza 2035:	16 863 voz/24
Dopravná prognóza 2045:	19 173 voz/24

3 Technické riešenie razeného tunela

Trasa tunela je tvorená dvomi nezávislými trasami smerových pásov diaľnice, každý pre jednu tunelovú rúru. Smerovo je trasa vedená v tvare predĺženého „S“, zloženého z kruhových oblúkov s prechodnicami a priamej trasy v strednej časti tunela. Tvar trasy umožňuje vhodné situovanie portálov vo vzťahu ku morfológii terénu a tiež vhodné svetelné pomery pri vjazde a výjazde z tunela.

Výškové vedenie oboch tunelových rúr je definované jednosmerným pozdĺžnym sklonom od západného portálu smerom k východnému portálu v sklone 2,80 %.

Svetlý priečny profil tunela je na líci sekundárneho ostenia definovaný zloženým kruhovým oblúkom okolo prejazdneho prierezu. Zároveň sú vedľa a nad prejazdným prierezom vytvorené priestory pre umiestnenie technologického vybavenia tunela (dopravné značky, ventilátory, svietidlá atď.).

Vzhľadom na smerové vedenie trasy a hodnoty polomerov smerových oblúkov je potrebná zmena priečného sklonu vozovky v oboch tunelových rúrach. Spolu s preklápaním vozovky sa preklápa celý profil tunela, čím je optimalizovaná plocha výrubu.

Nosná konštrukcia tunela je tvorená primárnym ostením s dočasnou statickou funkciou a sekundárnym ostením ako definitívnou nosnou konštrukciou. Sekundárne ostenie v dlhodobom časovom období prenesie zaťaženie od horninového masívu po postupnej degradácii prvkov primárneho ostenia.

3.1 Geologické a geotechnické podmienky

Inžinierskogeologickým prieskumom trasy tunela bolo overené - kvartérny deluviálny komplex, zosuvné delúvium s blokovými deformáciami v oblasti východného portálu a podložné paleogénne, flyšové komplexy, zubereckého súvrstvia.

Vplyvom vertikálnych a horizontálnych pohybov jednotlivých blokov hornín pozdĺž zlomov sa do úrovne nivelety tunela dostali súvrstvia s rôznym zastúpením ílovcov a pieskovcov. Z uvedeného dôvodu bolo v zmysle TP 06-1/2006 vyčlenených niekoľko druhov horninového masívu:

- deluviálne zeminy a zosuvné delúvium v portálových úsekoch tunelových rúr,
- ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s prevahou ílovcov nad pieskocami ($I_c > P_c$),
- ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s prevahou pieskovcov nad ílovcami ($P_c > I_c$),
- pieskovcové vrstvy, s lokálnymi polohami ílovcov ($P_c \gg I_c$),
- ílovcové vrstvy, s lokálnymi polohami pieskovcov ($I_c \gg P_c$),
- zlepencové vrstvy, s vložkami pieskovcov a ílovcov ($Zl > P_c > I_c$).

Hydrogeologické pomery v masíve Malkovskej hôrky sú ovplyvnené geologickou stavbou, pričom vnútorná stavba masívu je postihnutá tektonikou. Flyšoidné súvrstvie predstavuje ako celok málo zvodnené a veľmi nízko priepustné prostredie s puklinovou priepustnosťou vo veľmi silne zvetraných až rozložených polohách.

Horninové prostredie, v ktorom bude tunel Prešov razený bolo v IGHG prieskume charakterizované po dielčích celkoch - kvázihomogénnych úsekoch, s charakteristickými kvázihomogénnymi vlastnosťami podľa klasifikácie horninového masívu Z. T. Bieniawského (1976, 1989). Triedy hornín RMC boli zostavené podľa ratingového bodového ohodnotenia RMR, zohľadňujúceho pevnosť hornín v prostom tlaku σ_c , indexu kvality hornín RQD, vzdialenosť a charakter diskontinuít, vplyv podzemnej vody a smer i úklon diskontinuít, hlavne vrstevnatosti k osi a smeru razenia.

3.2 Razenie a primárne ostenie

Razenie a vystrojovanie tunela podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy je rozdelené do šiestich vystrojovacích tried, navrhnutých a označených v súlade s TP 06-1/2006 Cyklické razenie, vystrojovacie triedy. Vystrojovacie triedy sú 3, 4, 5A, 5B, 6 a 7. Vystrojovanie jednotlivých tried, teda primárne ostenie, je kombináciou striekaného betónu s oceľovou rozptýlenou výstužou alebo výstužou sieťami, kotiev maltovaných alebo hydraulicky upínaných, priehradových nosníkov, ihiel a zaistením čela pomocou striekaného betónu a samozávrtných sklolaminátových kotiev.

Počiatočný úsek tunelových rúr na oboch portáloch bude razený pod ochranou mikropilotových dáždnikov (vystrojovacia trieda 7). Pre razenie núdzových zálivov sú navrhnuté vystrojovacie triedy č. 4, 5 a 6.

Výrub tunela je horizontálne rozdelený na kalotu a stupeň, v menej priaznivých pomeroch na spodnú klenbu. Výška kaloty je cca 6,0 m, vzájomná vzdialenosť (odstup) kaloty a stupňa, prípadne spodnej klenby sú určené výkresovou dokumentáciou pre jednotlivé vystrojovacie triedy.

Návrh primárneho ostenia je realizovaný v súlade so zásadami rakúskej Smernice pre geotechnický návrh podzemných konštrukcií razených cyklickým spôsobom [1]. Kvázihomogénne celky, do ktorých bol horninový masív rozčlenený v rámci IG prieskumu, boli zoskupené do úsekov, v ktorých je predpokladaná obdobná odozva horninového masívu na razenie tunela. Rozdelenie tunela na úseky bolo robené s prihliadnutím na geomechanické parametre jednotlivých horninových druhov, primárnu napätosť, vzájomnú orientáciu tunela a horninových štruktúr a vplyv podzemnej vody. Na základe predpokladanej odozvy horninového prostredia na razenie tunela boli k jednotlivým úsekom priradené vystrojovacie triedy.

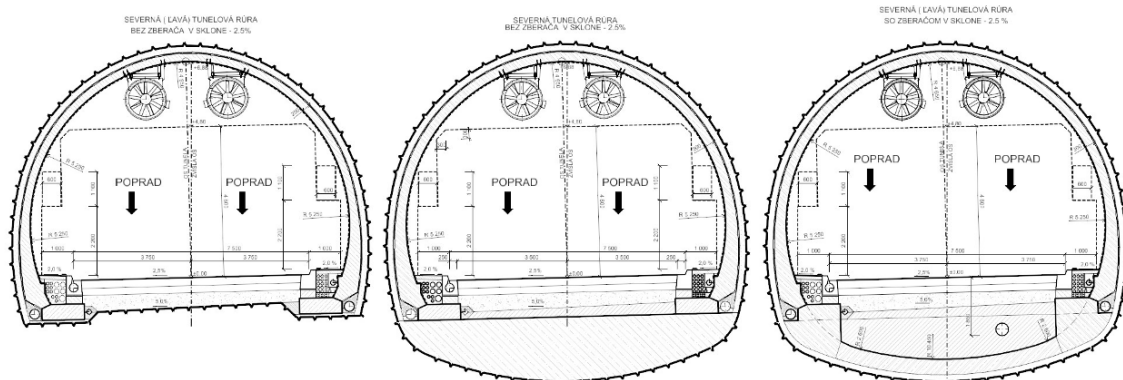
Množstvo a kvalita navrhnutých vystrojovacích prostriedkov je posúdená spolu s overením odozvy horninového masívu na razenie tunela, pomocou analytických a numerických metód. Pre overenie stability čelby tunela a ďalších lokálnych namáhání boli použité metódy medznej rovnováhy. Pre posúdenie navrhnutých vystrojovacích prostriedkov prenášajúcich zaťaženia hlavne v priečnom smere tunela a overenie reakcie horninového masívu na razenie bola použitá metóda konečných prvkov (MKP). Na základe výsledkov analýz boli urobené úpravy vystrojovacích prostriedkov v jednotlivých vystrojovacích triedach. Kombinácia použitia analytických a numerických metód umožňuje nie len posúdenie a optimalizáciu navrhnutých vystrojovacích prostriedkov, ale aj realizáciu predikcie chovania systému horninový masív – primárne ostenie na medzi prijateľnosti, z ktorej sú následne odvodené varovné stavy.

3.3 Sekundárne ostenie

Horná klenba definitívneho ostenia je navrhnutá na základe výsledkov statického výpočtu zo železobetónu alebo z prostého betónu. Vo vystužených blokoch je doplnená pozdĺžna protizmrašťovacia výstuž v spodnej časti profilu. Ostenie tunela bude vystužené v úsekoch s nízkym nadložíím (priportálových úsekoch), v úsekoch geologických porúch a nadmerných nameraných, resp. neustálených deformácií výrubu počas razenia. Vystužené bude tiež ostenie núdzových zálivov a blokov s napojením priečných prepojení. Výstuž výklenkov v ostení je navrhnutá ako doplnková, pričom sa inštaluje v blokoch ostenia z prostého betónu ako aj z vystuženého betónu. Vzhľadom na technológiu výstavby sekundárneho ostenia tunela je zvolená štandardná dĺžka bloku 12 m. Hrúbka sekundárneho ostenia je navrhnutá 250 a 300 mm v štandardnom priereze a 400 mm v núdzovom zálive.

V priečnom reze bez spodnej klenby sú navrhnuté základové pásy z prostého betónu. V priečnom reze so spodnou klenbou pre vystrojovacia triedu 5A a 5B je navrhnutá

monolitická spodná klenba z prostého betónu a trieda 5B aj s primárnym ostením. Pre ostatné triedy je navrhnutá vystužená spodná klenba hrúbky 500 mm.



Obr. 2 Vzorové priečne rezy tunela Prešov
Fig. 2 Typical cross-sections of the tunnel Prešov

Definitívne ostenie je pred vplyvmi podzemnej vody chránené tzv. systémom dáždňík, kombináciou hydroizolačného súvrstvia a pozdĺžnych drenáží.

Povrch sekundárneho ostenia bude opatrený ochranným náterom, do výšky 4,0 m od povrchu chodníkov bude povrch sekundárneho ostenia opatrený ochranným a zosvetľujúcim náterom. Portálové bloky budú celé opatrené ochranným a zosvetľujúcim náterom odolným voči UV žiareniu. Ochranný a zosvetľujúci náter bude použitý aj vo všetkých priečných prepojeniach. Návrh sekundárneho ostenia je riešený podľa STN EN 1997-1. Posúdenie vystuženého a nevystuženého betónu je robené podľa STN EN 1992-1-1. Pre účely stanovenia namáhania je sekundárne ostenie tunela modelované pružne uloženým prúťovým modelom. Pričom pružné uloženie pôsobí len v prípade deformácií tunela smerom do hory. Veľkosť tuhosti uloženia je stanovená na základe tuhosti horninového masívu a krivosti sekundárneho ostenia. Šmykové spolupôsobenie systému ostenie – horninový masív je z výpočtu vylúčené z dôvodu fóliovej hydroizolácie umiestnenej na rube ostenia. Zaťaženie sekundárneho ostenia horninovým tlakom je stanovené na základe výpočtov MKP realizovaných pre posúdenie a overenie chovania primárneho ostenia s uvažovaním degradácie primárneho ostenia.

Pre posúdenie sekundárneho ostenia tunela z nevystuženého betónu je použitý výpočtový postup vystihujúci chovanie nevystuženého betónu – umožňujúci simuláciu vzniku trhlin v betóne a s tým súvisiace preskupenie napätí v sekundárnom ostení tunela. Popis postupu výpočtu a realizácie posúdenia je uvedený v [6].

Na základe požiadavky TP 11/2011 [7] je overené chovanie sekundárneho ostenia v prípade požiaru v tuneli. Overenie chovania vystuženého ostenia je urobené pomocou zjednodušenej metódy podľa STN EN 1992-1-2 Navrhovanie betónových konštrukcií Časť 1-2 Všeobecné pravidlá – navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru.

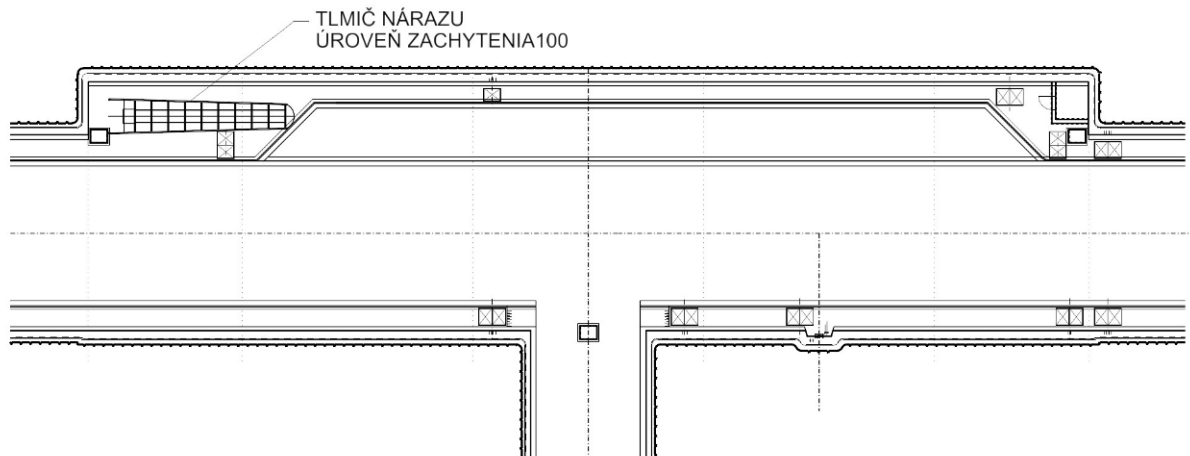
4. Bezpečnostné stavebné prvky

Bezpečnostné stavebné prvky sú tvorené viacerými prvkami v zmysle článkov STN 73 7507, ktorých účel priamo súvisí so zabezpečením prevádzkovej bezpečnosti v tuneli. Návrh bezpečnostných stavebných úprav zodpovedá požiadavkám Nariadenia vlády č. 344/2006 a tiež požiadavkám TP 11/2011 Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov.

Núdzové zálivy sú navrhnuté s maximálnou vzájomnou vzdialenosťou, resp. vzdialenosťou od portálov v hodnote 748 m, pričom STN 73 7507 požaduje vzdialenosť 500 – 750 m. Šírka pruhu núdzového zálivu je 3,0 m. Horné ohraničenie priechodného prierezu je vo výške 4,2 m.

Vzhľadom na potrebu umiestnenia tlmiča nárazu pred čelnou stenou zálivu sú zálivy

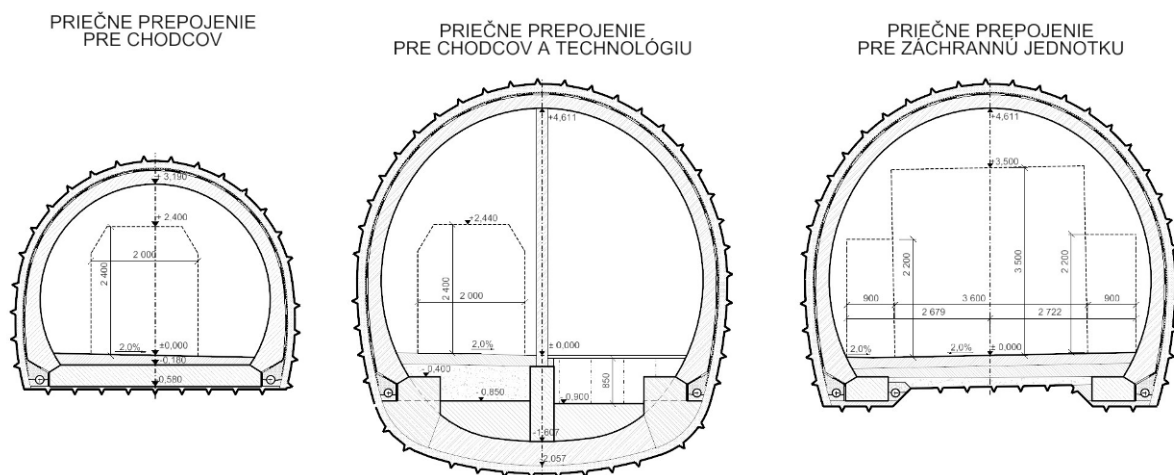
predĺžené na dĺžku 52 m. Na začiatku zálivu (v smere jazdy) je umiestnená SOS kabína vytvorená zo železobetónových stien.



Obr.3 Pôdorys núdzového zálivu
Fig. 3 Ground plan of the lay-by

Razené tunelové rúry sú navzájom prepojené ôsmimi priečnymi prepojeniami tvoriacimi chránené únikové cesty. Ich vzájomná vzdialenosť je 240 až 252 m. Priečne prepojenia sú navrhnuté nasledovne:

- Priečonné prepojenie 2 ks
- Priečonné prepojenie s technologickými miestnosťami 3 ks
- Priečonné prepojenie s miestnosťami pre redukciu tlaku v PV 1 ks
- Prejazdové prepojenie 2 ks



Obr.4 Priečne prepojenia tunela Prešov - Vzorové priečne rezy
Fig. 4 Cross passages in the tunnel Prešov - Typical cross-sections

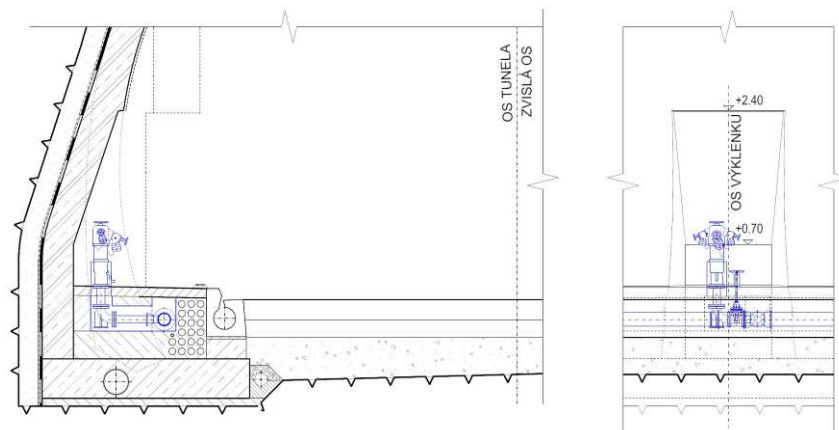
Pri maximálnej normovej vzájomnej vzdialenosti núdzových zálivov 748 m, boli priečne prepojenia navrhnuté vo vzájomnej vzdialenosti približne 250 m. Táto vzdialenosť nám umožnila ich usporiadanie s jedným požiarnym uzáverom (posuvnými dverami) v strede priečného prepojenia bez separátneho vetrania.

Účelom núdzových (SOS) výklenkov je umiestnenie zariadenia núdzového volania (SOS kabína) a ďalších súvisiacich technických zariadení (napr. hasiace prístroje, prostriedky prvej pomoci). SOS výklenky sú štandardne vytvorené v sekundárnom ostení tunela po pravej

strane profilu v smere jazdy. V núdzovom zálive je SOS kabína umiestnená v priestore vytvorenom vertikálnymi betónovými pričkami. Svetlý rozmer výklenkov je šírka 1,8 m, výška 2,3 m a hĺbka 1,5 m. Steny výklenku sú zošikmené z dôvodov oddebnenia ako aj zo statických dôvodov. Vnútorný priestor výklenku je od dopravného priestoru oddelený železobetónovou pričkou.

Vzájomná vzdialenosť SOS výklenkov je 108 až 140 m, pričom NV č.344/2006 požaduje maximálnu vzdialenosť 150 m. Celkový počet SOS výklenkov je 17 v severnej tunelovej rúre a 17 v južnej tunelovej rúre. Účelom požiarnych výklenkov je umiestnenie hydrantu požiarneho vodovodu. Požiarné výklenky (Obr. 5) sú štandardne vytvorené v sekundárnom ostení tunela po ľavej strane vozovky v smere jazdy. Svetlý rozmer výklenkov je šírka 2,2 m, výška 2,3 m a hĺbka 1,0 m. Výklenok je v súlade so vzorovými listami VL 5 navrhnutý ako otvorený, bez umiestnenia výbavy. Výbava bude nahradená výstrojom umiestneným v priečných prepojeniach.

Vzájomná vzdialenosť požiarnych výklenkov je 108 až 140 m, pričom TP 11/2011 požaduje maximálnu vzdialenosť 150 m. Celkový počet výklenkov je 17 v severnej tunelovej rúre a 17 v južnej tunelovej rúre.

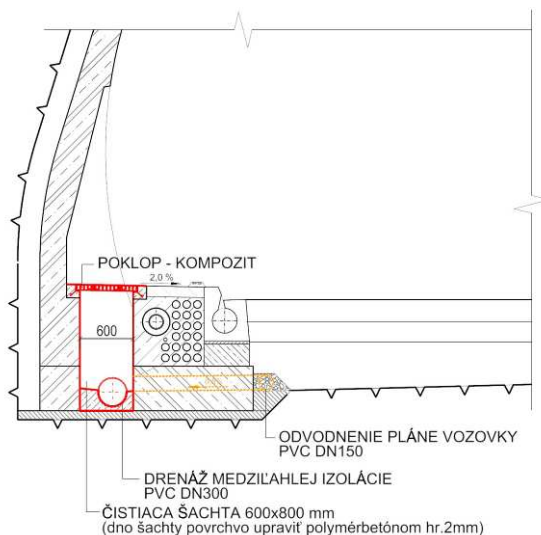


Obr. 5 Požiarny výklenok
Fig. 5 Fire fighting niche

5 Ostatné časti stavby

5.1 Čistiace výklenky

V zmysle TP 11/2011 a VL 5 boli na prekrytie čistiacich šachiet v chodníkoch navrhnuté poklopy kompozitné s triedou reakcie na oheň Bfl-s1. Aby sa predišlo tvorbe vápenatých usadenín sú bočné drenážne rúry zaústené do dna šachty, šachty sú navrhnuté ako prietočné s prepadom do hlavného zberača a povrch šachiet je opatrený polymérbetónovým poterom. Do drenážnych šachiet je zaústené aj potrubie odvodnenia pláne. Z dôvodu optimálneho delenia krytu vozovky je CD výklenok (Obr. 6) osadený do 1/3 dĺžky bloku tunela.



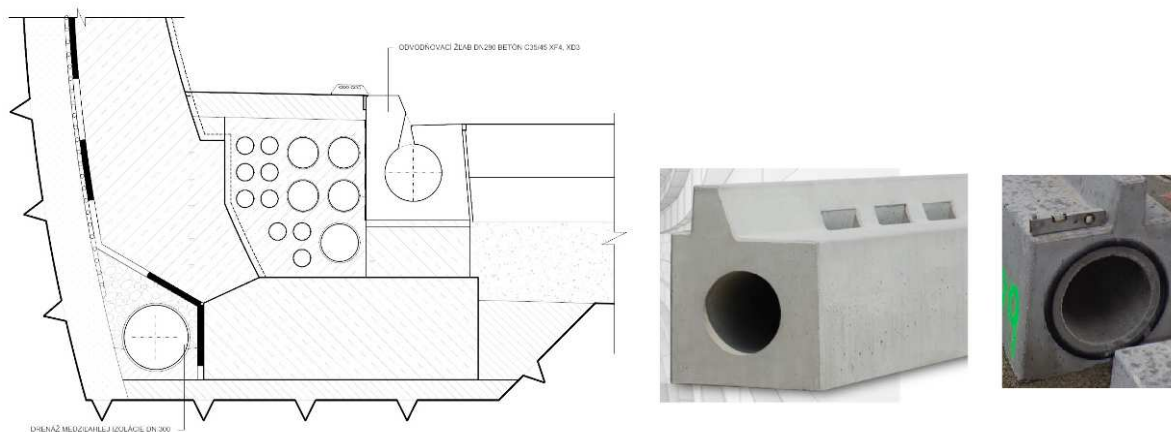
Obr.6 Výklenok na čistenie drenáže
Fig. 6 Niche for cleaning drainage

5.2 Hlavný zberač priesakových vôd

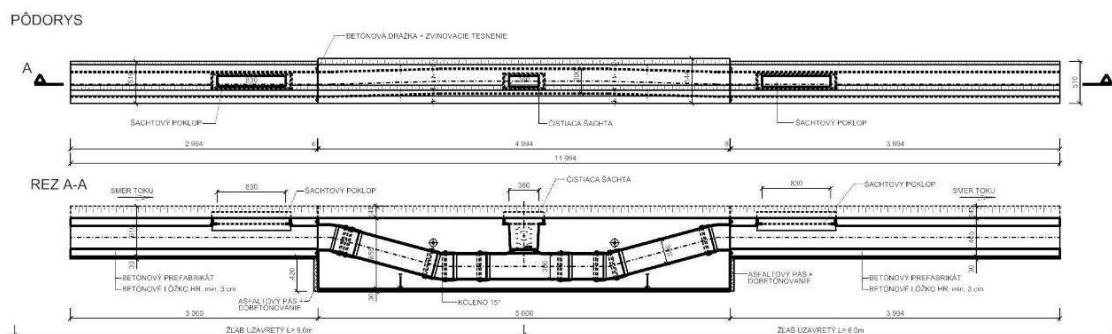
Vzhľadom na množstvá vody pritekajúce z horninového masívu je hlavný zberač DN 400 navrhnutý iba v 1/3 dĺžky tunela, a preto sú potrubia bočných drenáží navrhnuté ako prietochné DN 300.

5.3 Odvodnenie vozovky

Odvodnenie vozovky je navrhnuté v súlade VL 5 z masívneho štrbinového žľabu s kruhovým prierezom potrubia (Obr. 7), s nepriebežnou štrbinou, spájaným pomocou neoprénového tesnenia a s použitím rúrových zhybiek (Obr. 8) namiesto sífónových šacht. Odvodnenie vozovky pri zmene priečného sklonu je navrhnuté zdvojené.



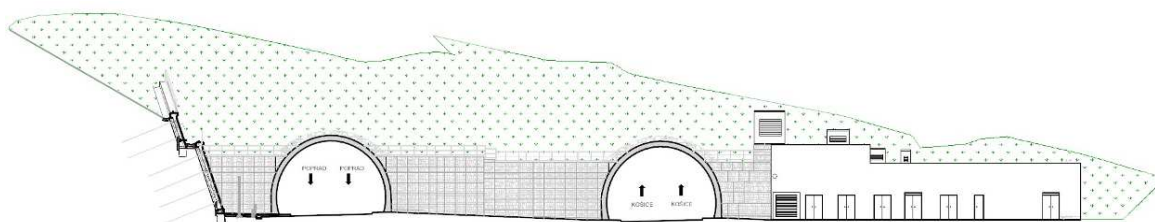
Obr. 7 Odvodnenie vozovky - Štrbinový žľab
Fig. 7 The pavement drainage - Slot gutter



Obr. 8 Odvodnenie vozovky – Rúrová zhybka
 Fig. 8 The pavement drainage – Inverted siphon

5.4 Portálové konštrukcie

Pre uzatvorenie portálu bol po skúsenostiach so strmými zelenými svahmi (Sitina, Bôrik), kotveným oporným múrom (Horelica), či ukončením portálovou budovou (Branisko) navrhnutý oporný múr z gabiónej stavebnice so šikmým čelom do 2/3 výšky tunela v kombinácii s kamenným opevnením v mieste ukončenia hydroizolácie hĺbeného tunela.



Obr. 9 Pohľad na riešenie portálu tunela Prešov s gabiónovým oporným múrom
 Fig. 9 View on the portal of the tunnel Prešov with gabion main wall

5.5 Vozovka

Vozovka je navrhnutá s nevystuženým cementobetónovým dvojvrstvovým krytom CB I hr. 260 mm, s vystuženými rezanými priečnymi a pozdĺžnymi škárami. Na základe skúseností z minulosti ohľadom protišmykových vlastností krytu vozovky, je odporúčané upraviť povrch vymetnutím cementovej malty rotačnými metlami z povrchu krytu, takto upravený povrch bude s obnaženým kamenivom s pravidelnou textúrou.

6. Zoznam použitej literatúry

- [1] STN EN 1997-1 Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 1: Všeobecné pravidlá., 2005
- [2] TP 06-1/2006. Podzemné stavby. Časť 1: Cyklické razenie, vystrojovacie triedy
- [3] STN EN 1992-1-2 (731201) Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru. 1.12.2008
- [4] STN 73 7507 Projektovanie cestných tunelov, 2008
- [5] Austrian Society for Geomechanics, Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation, 2010 Salzburg, dostupné on-line <http://www.oegg.at>
- [6] Saurer E., Höser S., Mattle B., Ein Bemessungskonzept für unbewehrte und faserbewehrte Tunnelinnenschalen, Beton- und Stahlbetonbau 106, Ernst&Sohn 2011 Berlin
- [7] TP 11/2011 - Technické podmienky: Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov, MD Júl 2011
- [8] Dokumentácia na realizáciu stavby tunela Prešov, 2014