

OKRUHLIAK – TUNEL RAZENÝ V NAPÚČAVÝCH HORNINÁCH

OKRUHLIAK – TUNNEL DRIVEN IN SWELLING ROCKS

Martin Bakoš¹
Peter Paločko²

ABSTRAKT

V úseku rýchlostnej cesty R4 Prešov – Severný obchvat sú navrhnuté dva tunely. Tunel Bikoš dĺžky 1,15 km a tunel Okruhliak dĺžky 1,83 km. Počas doplňujúceho inžiniersko – geologického prieskumu vykonávaného v súbehu s projekčnými prácami na dokumentácii pre stavebné povolenie v roku 2013 bola v úseku tunela Okruhliak laboratórnymi skúškami zistená napúčavosť hornín, ktorá sa na ostení prejavuje ako tlak z napúčania. Technické riešenie predpokladané v dokumentácii pre územné rozhodnutie nebolo možné preniesť do ďalšieho stupňa. Predkladaný príspevok popisuje technické riešenie tunela Okruhliak v stupni DSP s ohľadom na najnovšie výsledky inžiniersko-geologického prieskumu.

ABSTRACT

There are two tunnels designed on expressway R4 Lot Prešov – North Bypass. Tunnel Bikoš will be 1.15 km long and tunnel Okruhliak will be 1,83 km long. Swelling rock were found in alignment of tunnel Okruhliak during supplementary Engineering – Geological investigation performed in 2013 during design for building permission. This swelling increases loads on tunnel lining. Technical solution designed in documentation for land use could not be applied in the next design stage. Presented contribution describes structural design of tunnel Okruhliak in stage of building permission in accordance with last knowledge of geological investigation.

1 Úvod

Tunel Okruhliak je časťou navrhovanej rýchlostnej cesty R4 Prešov – Severný obchvat, ktorá je súčasťou severo-južného dopravného prepojenia rýchlostnou cestou v úseku štátna hranica SR/PR – Vyšný Komárnik – Milhošť – štátna hranica SR/MR. Rýchlostná cesta má zabezpečiť prepojenie medzi diaľnicou D1 a rýchlostnou cestou R4 Kapušany – Gíraltovece. Má prevziať časť dopravy z jestvujúcej komunikačnej siete Prešova a odkloniť tranzitnú dopravu z centra mesta Prešov. Navrhovaná rýchlostná cesta bola riešená v štyroch variantoch. Na základe Záverečného stanoviska MŽP SR z roku 2006 bol odporúčaný variant 4, ktorého vybudovaním sa zvýši kvalita životného prostredia obyvateľov vo všetkých dotknutých obciach a v samotnom meste Prešov. V tomto variante dĺžka navrhovanej trasy rýchlostnej cesty je 14,680 km. Začiatok úseku je západne od mesta Prešov s napojením na diaľnicu D1 v mimoúrovňovej križovatke „Prešov západ (Vydumanec)“.

¹Ing. Martin Bakoš, PhD., Amberg Engineering Slovakia, Somolického 1/B, 811 06 Bratislava, tel: 02/59308261 e-mail: mbakos@amberg.sk

¹Ing. Martin Paločko, PhD., Amberg Engineering Slovakia, Somolického 1/B, 811 06 Bratislava, tel: 02/59308267 e-mail: ppalocko@amberg.sk

Koniec úseku je v km 14,658 s napojením na výhľadový úsek rýchlostnej cesty R4 Kapušany – Giraltovec. Súčasťou navrhovaného úseku okrem tunela Okruhliak je aj tunel Bikoš, križovatky Vydumanec, Dúbrava, Kapušany a 16 mostných objektov. V riešenom úseku R4 sa neuvažuje s budovaním veľkých a malých odpočívadiel a s umiestnením stredísk správy a údržby rýchlostnej cesty. Dokumentácia pre územné rozhodnutie takto navrhovanej trasy bola spracovaná v roku 2008, dokumentácia na stavebné povolenie v roku 2014. Projektantom tunela Okruhliak je spoločnosť Amberg Engineering Slovakia, s.r.o., Bratislava.

Tunel Okruhliak je navrhnutý ako dvojrúrový tunel v extraviláne, s jednosmernou premávkou s maximálnou dovolenou rýchlosťou 100 km/h. Šírkové usporiadanie tunela je predpísané kategóriou T= 7,5 v zmysle STN 73 7507, t.j. každá tunelová rúra je s dvomi jazdnými pruhmi šírky 3,50 m a núdzovými chodníkmi šírky 1,0 m po oboch stranách. Základná výška priechodného prierezu je 4,80 m. Dĺžka ľavej tunelovej rúry je 1831,473 m, dĺžka pravej tunelovej rúry je 1823,061 m. Tunel bude v celej dĺžke razený v napúčavých fľoch, čo si vyžiadalo zvláštny prístup projektantov k tvaru priečného rezu tunela a k jeho statickému posúdeniu.

2 Stručná geologická charakteristika územia

Tunel Okruhliak je situovaný v masíve kóty Okruhliak (390,7 m n. m.), v jeho juhozápadnej až juhovýchodnej časti, ktorá je reprezentovaná miernym, pahorkatinným charakterom, rozčleneným širokými depresiami na výrazné a priebežné chrbty orientované v základnom smere S-J až SSZ-JJV, masív kót 379 a 384 v juhozápadnej až v západnej časti (charakter výraznejšieho a úzkeho chrbta) a kóty 383 v južnej až juhovýchodnej časti (charakter širokého a plochého chrbáta). Okrem dielčích chrbátov je masív rozčlenený rôzne širokými a rôzne orientovanými depresiami:

- smerom SZ-JV (JV od obce Kaňas s úzkou, ale hlbokou eróznou ryhou až úroveň kóty 364),
- smerom S-J (široké údolie Pustej doliny v strede masívu),
- smerom ZSZ-VJV (úzke, hlboké údolie SV od koridoru a východného portálu, SZ od obce Surdok).

Svahy, hlbokých, erózných rýh, ktoré rozčleňujú plochý reliéf Okruhliaka sú porušené svahovými deformáciami. Svahovými deformáciami je výrazne porušený aj východný okraj masívu kóty 383 v okolí osady Surdok.

V celom koridore tunela Okruhliak je horninový masív budovaný komplexom aleuriticko-pelitických hornín, ktorý reprezentuje súvrstvie neogénnych hornín – spodný miocén, vek egenburg. Podložie neogénnych sedimentov tvoria vrstvy paleogénu.

Neogénne horniny sú v celom koridore prekryté kvartérnymi sedimentami. Formácie kvartérnych sedimentov sú zastúpené najmä litologickými typmi zemín deluviálneho komplexu a okrajovo do koridoru zasahujúcimi zeminami zosuvnej genézy – zosuvné delúvia. Genéza kvartérnych zemín je podmienená procesmi zvetrávania, svahovej modelácie, eróznej a akumuláčnej činnosti povrchových tokov.

Na celej ploche masívu v koridore tunela nie sú registrované vývery podzemnej vody. Ploché depresie vo vrcholových častiach a depresie v údoliach sú zamokrené, s akumuláciou zrážkových vôd po obdobiach zrážok. Z dôvodu nepriepustnosti povrchovej vrstvy ílov je povrch územia dlhodobo zamokrený. Lokálne silne rozptýlené vývery vôd sú registrované v čiastkovej depresii orientácie SZ-JV v JZ svahu, západne od Surdoku, v rozsiahlom masíve blokových zosuvov.

Na základe podrobného inžiniersko-geologického prieskumu bola zistená hodnota pomerného napúčania $Bo = 0,1 - 3,6 \%$ (priemer 2,01 %).

Na ôsmich vzorkách z troch vrto v boli zistené objemové zmeny v rozsahu napúčacích tlakov 0,977 – 1,620 MPa a z vrtu vo východnejšej časti tlak z napúčania 2,600 – 2,922 MPa. Priemerné napúčacie tlaky boli zistené v hodnote 1,0 MPa.

Tak isto je možné očakávať v celej trase tunela prítomnosť horninovej vody agresívnej na betón. Z toho dôvodu bola v oboch tunelových rúrach po celej dĺžke tunela:

- navrhnutá spodná klenba,
- sekundárne ostenie je po celej dĺžke navrhnuté železobetónové,
- betón sekundárneho ostenia je navrhnutý do agresívneho prostredia XA1,
- vrtanie vrto v na osadenie kotiev na sucho.

Vzhľadom na nízke pevnosti hornín sa navrhuje na rozpojovanie hornín použiť výložníkovú fréza. Len v úseku pieskocov, cca. 90 m, bude nutné použiť vrtno-trhacie práce

3 Technické riešenie stavebnej časti tunela

Tunel je navrhnutý ako dvojrúrový s jednosmernou prevádzkou v kategórii 2T-7,5. Výška prejazdného gabaritu je v zmysle STN 73 7507 navrhnutá 4,8 m. Šírka chodníkov je 1,0 m a svetlá výška nad chodníkmi 2,2 m. Dĺžka pravej tunelovej rúry je 1831 m a dĺžka ľavej tunelovej rúry je 1823 m. Tunel je po celej svojej dĺžke navrhnutý s protiklenbou.

V rámci stavebnej časti tunela boli navrhnuté nasledovné objekty:

402-00-01	ZÁPADNÝ PORTÁL
402-00-02	VÝCHODNÝ PORTÁL
402-00-03	HÍBENÝ TUNEL
402-00-04	RAZENÝ TUNEL
402-00-05	PRIEČNE PREPOJENIA
402-00-06	DRENÁŽNE ODVODNENIE TUNELA
402-00-07	ODVODNENIE VOZOVKY
402-00-08	VOZOVKA A CHODNÍKY
402-00-09	TECHNOLOGICKÁ CENTRÁLA ZP
402-00-10	TECHNOLOGICKÁ CENTRÁLA VP
402-00-11	KÁBLOVODY ZP
402-00-12	KÁBLOVODY VP
402-00-13	PROTIPOŽIARNY VODOVOD
402-00-14	ROZVODŇA VN PRE TRAFOSTANICU

V ďalšom texte bude predstavené základné technické riešenie významných stavebných častí tunela.

3.1 Portálové úseky

Portálové steny sú vysoké 10,3 – 16,4 m na západnom portáli a 12,6 – 15,0 m na východnom portáli.

Portálové steny budú zaistené klincami ϕ R32 dĺžky 6,0 m a striekaným betónom hrúbky 150 mm vystuženého oceľovou sieťou. Klince sú navrhnuté v etážach výšky 1,5 m a v rozstupe 2,0 m so sklonom 10°. Nad úrovňou tunelovej rúry je lavička šírky 1,5 m. Na lavici je umiestnený železobetónový kotevný prah rozmerov 0,6 x 0,8 m. Prah bude kotvený jedným radom predpäťých lanových kotiev. Kotvy sú navrhnuté 6 Lp 15,5 dĺžky 18,0 m, s dĺžkou koreňa 8,0 m, v rozstupe 3,0 m. Sklon kotiev je 15° od vodorovnej úrovne. V mieste tunelových rúr bude sklon kotiev 5° a prípadne budú ešte vyosené, aby sa predišlo kolízii s ochranným dáždnikom po obvode klenby tunela. Odkop pokračuje v sklone 3:1 až po päť svahu. Na dvoch miestach je prerušený lavičkami šírky 0,6 m určenými pre osadenie železobetónových kotevných vencov.

Na lavičkách budú železobetónové kotevné prahy rozmerov 0,6 x 0,8 m. Prahy budú kotvené predpäťmi lanovými kotvami 6 Lp 15,5. Dĺžka kotiev v 2. rade je 18,0 m, koreň 8,0 m a dĺžka kotiev v 3. rade je 15,0 m, koreň 8,0 m. Rozstup kotiev bude 3,0 m, v spodnom rade aj menší v závislosti od vzdialenosti medzi tunelovými rúrami, resp. medzi bočnými stenami a tunelom. Sklon kotiev je 15° od vodorovnej úrovne.

3.2 Zaistenie bočných svahov

Zaistenie bočných svahov možno rozdeliť na dve časti. Časť svahu, ktorá je bližšie k portálu razeného tunela bude v rámci konečných terénnych úprav zasypaná. Vzhľadom na postupne sa zvyšujúcu výšku svahu bude tento svah istený obdobne ako čelo stavebnej jamy – kotvený svah s lavičkami, klincami a striekaným betónom. Plytšia časť stavebnej jamy, ktorá nebude zasypaná sa odkope v sklone 1:1,75 a voči erózii sa ochráni geokompozitom.

3.3 Konečné terénne a vegetačné úpravy

Po dokončení hĺbenej časti tunela sa pristúpi k definitívnej úprave portálov tunela. V mieste stavebnej jamy sa zrealizuje spätný zásyp so sklonom čelnej plochy 1:1,75. Časti svahu severnej a južnej strany jamy budú už v rámci HTÚ vykované v definitívnom sklone a ochránené geomrežou, nový svah sa na ne napojí. Portálový svah sa na vrchu plynule napojí na pôvodný terén. Spätný zásyp bude sypaný po vrstvách hr. 300 mm a bude hutnený. Okolo vyústenia tunelových rúr bude na svahu kamenný obklad uložený do betónového lôžka hr. 100 mm.

Nad tunelovými rúrami sa vybuduje odvodňovacia priekopa. Je z betónových dosiek uložených do podkladného betónu hr. 100 mm. Na oboch stranách sa napojí na jestvujúcu priekopu. Dočasná priekopa na svahu nad novou priekopou sa zruší.

Po dokončení spätných zásypov sa z bočných svahov chránených geomrežou odstráni burina a porasty, ktoré sa tam zakorenili počas výstavby. Geomreže, ako aj spätný zásyp sa presypú humusovou vrstvou hr. 200 mm a zrealizuje sa hydroosev.

3.4 Hĺbený tunel

Trasa hĺbenej časti tunela Okruhliak je tvorená dvomi nezávislými trasami smerových pásov rýchlostnej cesty R4, každý pre jednu tunelovú rúru. Vzájomná vzdialenosť osí hĺbených tunelových rúr je v smere zo západu na východ (západná časť) od 21,35 m do 22,22 m, (východná časť) od 22,76 m do 21,45 m.



Obr. 1 Vizualizácia východného portálu
Fig. 1 Visualization of the East Portal



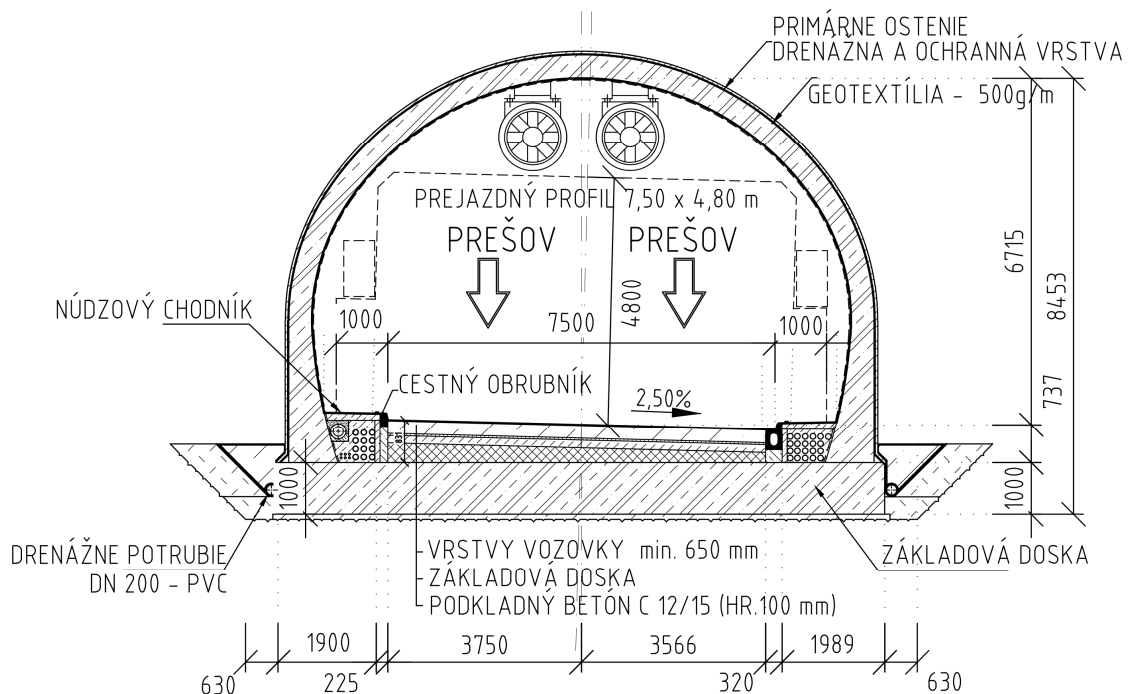
Obr. 2 Vizualizácia – západného portálu
Fig. 2 Visualization of the West Portal

3.5 Konštrukcia hĺbeného tunela

Konštrukcia hĺbených tunelových rúr je tvorená z klenbovej konštrukcie a základovej dosky. Min hrúbka klenbovej konštrukcie je 450 mm. Nosná klenbová konštrukcia je navrhnutá s medziľahlou drenážnou, ochrannou vrstvou, plošnou hydroizoláciou a ochrannou vrstvou zo striekaného betónu hrúbky 50 mm. V konštrukcii hĺbených tunelových rúr nie sú navrhnuté žiadne výklenky.

Základová doska má šírku 11,75 m a konštantnú výšku 1,0 m.

Ako povrchová úprava ostenia budú použité dvojvrstvové nátery, ktoré musia spĺňať kritéria na vodeodolnosť, paropriepustnosť a umývateľnosť. Navrhnutá je štruktúra povrchu a farebnosť so stredným stupňom remisie, to znamená, že povrchy nebudú ani reflexné - aby nedošlo k zrkadleniu povrchu, ani absorbčné - aby nedošlo k prílišnému pohlcovaniu svetla. Farebná škála bude pozostávať z rôznych stupňov šedej. Vozovka a chodníky budú mať prirodzenú farbu betónu. Bočné steny budú svetlošedej farby, strop tmavošedej farby. Kompletizačné prvky budú akcentované príslušnými signálnymi farbami.



Obr. 3 Vzorový priečný rez hĺbeného tunela
Fig. 3 Typical Cross Section of Cut-and-cover Tunnel

3.6 Razený tunel

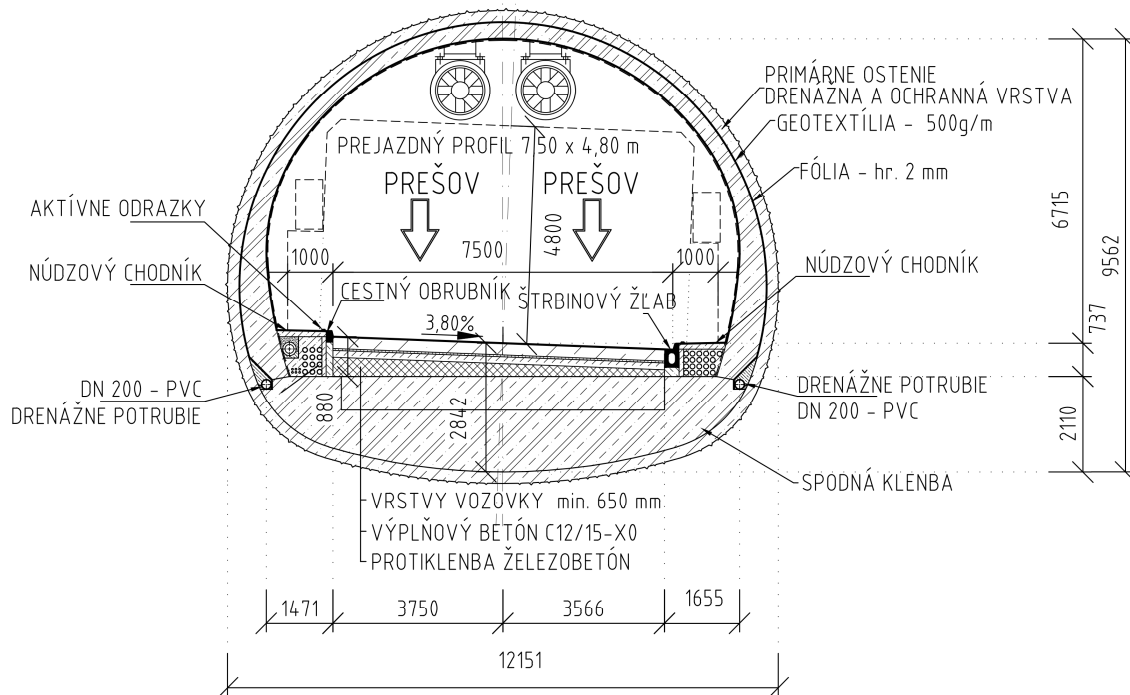
Túto časť stavby tvoria dve samostatne razené tunelové rúry. Staničenia začiatku a konca razených tunelových rúr sú dané rozhraniami blokov sekundárneho ostenia a klenbovej konštrukcie hĺbeného tunela pri portáloch na razenie tunela. Súčasťou tejto časti stavby sú aj výklenky pre SOS kabíny s hydrantmi, výklenky pre čistiace šachty a núdzový záliv.

3.7 Výstroj a primárne ostenie

Konštrukcia razených tunelových rúr je tvorená dvojvrstvom ostiením (primárnym a sekundárnym) s medziľahlou drenážnou a ochrannou vrstvou a plošnou hydroizoláciou. Tvar konštrukcie je navrhnutý pre cyklické razenie. Výrub tunela je členený na kalotu, stupeň a

spodnú klenbu. Primárne ostenie má tvar zloženej kruhovej klenby po celom obvode prierehého rezu. V dôsledku napúčacích tlakov je spodná klenba navrhnutá po celej dĺžke tunela. Navrhnutá konštantná hrúbka primárneho ostenia je 200 mm. Konštrukčná hrúbka primárneho ostenia v núdzovom zálive je 300 mm.

Sekundárne ostenie razeného tunela je navrhnuté zo železobetónu. Blok sekundárneho ostenia tvorí jeden pracovný a dilatačný celok. Dĺžka jedného dilatačného celku bude 12 m v líci kratšej strany bloku (resp. 11,98 m pri uvažovaní dilatačnej vložky hrúbky 20 mm). Minimálna hrúbka sekundárneho ostenia je 350 mm, minimálna hrúbka sekundárneho ostenia v oblasti núdzového zálivu je 550 mm.



Obr. 4 Vzorový priečný rez razeného tunela
Fig. 4 Typical Cross Section of Driven Tunnel

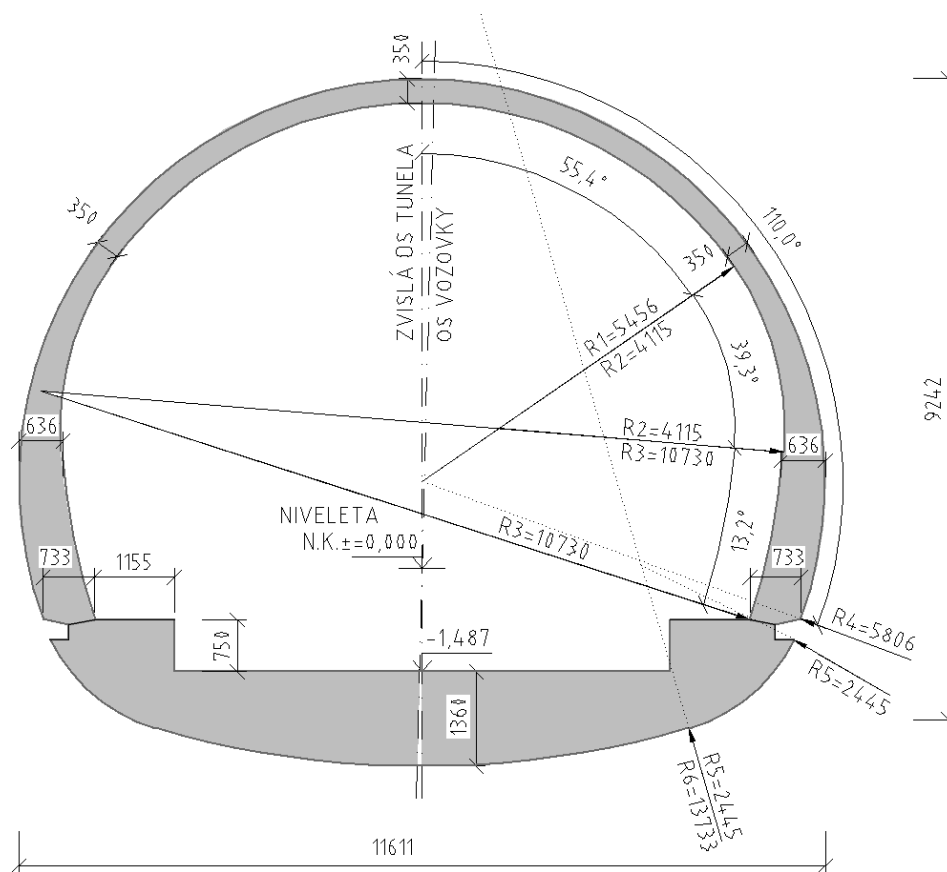
3.8 Statické riešenie razeného tunela

Ostenie nosnej konštrukcie tunelovej rúry je obojstranne symetrické k zvislej tunelovej osi. Nedochoádza k jej nakláňaniu vplyvom priečneho sklonu vozovky v smerových oblúkoch. Spodná klenba nosnej konštrukcie je symetrická k zvislej tunelovej osi. Nosná konštrukcia v pozdĺžnom smere tunelovej rúry je dlhá 11,98 m.

Výpočtový model bol na základe geometrie konštrukcie vytvorený z 2D osovo - prúťových prvkov. Všeobecná priestorová úloha je redukovaná na 2D problém, kde hrúbka ostenia má povahu fyzikálnej konštanty. Konštrukcia (spodná klenba a obvod sekundárneho ostenia) bola podopretá líniovým podopretím na prúte.

Sekundárne ostenie je navrhnuté hrúbky 350 mm vo vrchole klenby. Smerom k pätám sa hrúbka ostenia zväčšuje. V pätách klenby dosahuje hrúbku 733 mm. Maximálna hrúbka spodnej klenby je navrhnutá na 1 360 mm.

Po celom obvode bola konštrukcia podopretá líniovými pružnými podperami s použitím tuhostného parametra k_z (modul reakcie) a vylúčením podoprenia v ťahu v smere kolmom na os jednotlivých prvkov. V mieste spodnej klenby, v smere normály, bola konštrukcia podopretá líniovými pružnými podperami s použitím redukovaného tuhostného parametra.



Obr. 5 Geometria tunela pre výpočtový model
Fig. 5 Tunnel Geometry for Calculation Model

Zaťaženie konštrukcie klenby a základov je stanovené podľa zásad STN EN 1991 Zaťaženie konštrukcií a STN EN 1997 Navrhovanie geotechnických konštrukcií.

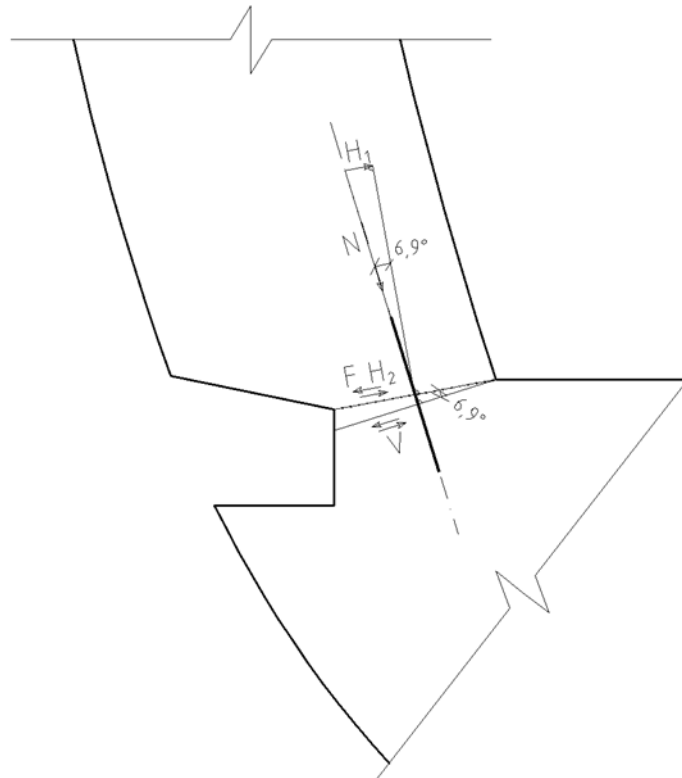
Z dôvodu predpokladaného seizmického zaťaženia sa vo výpočtoch uvažovalo s návrhovým zrýchlením $a_g = 0,075$ g. Toto zrýchlenie sa vo výpočte zohľadnilo pomocou dynamického súčiniteľa $\gamma_d = 1,15$.

Pre zaťaženie konštrukcie sekundárneho ostenia boli uvažované zaťažovacie stavy uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 1 Zaťažovacie stavy
Tab. 1 Load States

Názov	Popis	Typ pôsobenia	Zaťažovacia skupina	Smer
LC1	vlastná tiaž	stále	LG1	-z
LC2	horninový tlak	stále	LG2	
LC3	letná teplota	premenné	LG3	
LC4	zimná teplota	premenné	LG3	
LC5	tep. spád_letný	premenné	LG3	
LC6	tep. spád_zimný	premenné	LG3	

Na základe výsledných vnútorných síl bola konštrukcia posudzovaná v štyroch miestach – rezoch. Na nasledujúcom obrázku sú vyznačené miesta posudzovaných rezov.



Obr. 6 Usporiadanie síl v pracovnej škáre
Fig. 6 Composition of forces in working joint

Keďže počas inžiniersko-geologického prieskumu bola zistená napúčavosť hornín, bolo nutné zahrnúť vplyv tlakov z napúčania do statického výpočtu ako prítlačenie z horninového masívu v oblasti protiklenby.

Pri výpočte primárneho ostenia sa s tlakmi z napúčania neuvažovalo. Rovnako sa neuvažovalo s tlakmi z napúčania okamžite po zabudovaní vrchnej klenby a protiklenby sekundárneho ostenia. Následne po vytvrdnutí betónu (28 dní) sa uvažovalo s postupným nárastom napúčacích tlakov v jednotlivých výpočtových fázach, a to na 20 %, 50 % a 100 % tlaku zisteného v inžiniersko-geologickom prieskume. To zodpovedá postupnému zvyšovaniu tlakov z napúčania hornín.

3.9 Priečne prepojenia

Súčasťou tunela je šesť priečných prepojení medzi tunelovými rúrami ktoré slúžia ako únikové cesty. Priečne prepojenia 2 a 5 slúžia aj ako podružne rozvodne NN. Priečne prepojenia 1, 2, 3, 5, 6 sú navrhnuté ako priechnové a priečne prepojenie 4 je navrhnuté ako prejazdové priečne prepojenie. Maximálna vzájomná vzdialenosť dvoch priečných prepojení je 276 m.

3.10 Technologické centrály

Na tunely sú navrhnuté dve technologické centrály – na oboch portáloch tunela. Obedva objekty sú navrhnuté ako nepresýpané.

Technologická centrála na západnom portáli je objekt obdĺžnikového tvaru L, rozmerov 20,75 m x 16,6 m. Je riešená ako jednopodlažná, čiastočne podpivničená, prekrytá plochou strechou. Objekt slúži na zastrešenie technológie, prevažne elektrického zariadenia potrebného na prevádzku tunela, pracovisko na prevádzku a dieselagregát, zabezpečujúci dodávku elektrickej energie v prípade výpadku. Súčasťou objektu je ATS (automatická tlaková stanica) nachádzajúca sa v podpivničenej časti, navzájom prepojená s protipožiarnou nádržou vzdialenou cca. 5,0 m od centrály.

Technologická centrála na východnom portáli je objekt obdĺžnikového tvaru, rozmerov 20,75 m x 12,3 m. Je riešená ako jednopodlažná, nepodpivničená, prekrytá plochou strechou. Objekt slúži na zastrešenie technológie, prevažne elektrického zariadenia potrebného na prevádzku tunela, pracovisko na prevádzku a dieselagregát, zabezpečujúci dodávku el. energie v prípade výpadku.

4 Záver

Tunel Okruhliak nevyniká medzi slovenskými tunelmi svojou dĺžkou. Výskyt napúčavých hornín v trase tunela však zvyšuje nároky na jeho výstavbu, pretože tunel bude musieť byť navrhnutý s protiklenbou. Aby sa znížili náklady na vybudovanie tunela, bude potrebné vykonať dopĺňujúci inžiniersko-geologický prieskum v trase tunela a optimalizovať profil tunela vo viacerých geotechnických rezoch. Len tak stavba vyhoví náročným požiadavkám analýzy nákladov a výnosov (CBA), aby mohol byť financovaný z fondov Európskej Únie.

5 Zoznam použitej literatúry

- [1] Rýchlostná cesta R4 Prešov – Severný obchvat, dokumentácia pre stavebné povolenie, HBH projekt, spol. s r.o., 10/2014,
- [2] R4 – Severný obchvat Prešova – Aktualizácia – DSP (II.2013) – dopravno-inžinierske podklady, HBH projekt, spol. s r.o.,
- [3] R4 – Prešov – severný obchvat – DSP – Podrobný geologický prieskum, Geofos spol. s r.o., 2013.