

# TUNEL OKRUHLIAK – VÝZVA ALEBO RUTINA? OKRUHLIAK TUNNEL – CHALLENGE OR ROUTINE?

ANTON PETKO, MICHAL MARIČÁK

## ABSTRAKT

Cieľom tohto článku je oboznámiť čitateľov a odbornú verejnosť s tunelom Okruhliak, ktorý je v poradí tretím tunelom na cestnej infraštruktúre v okolí tretieho najväčšieho slovenského mesta Prešov. Po tuneloch Prešov a Bikoš, ktoré sú už v prevádzke, sa 30. septembra 2023 začala výstavba tunela Okruhliak, ktorý je súčasťou II. etapy severného obchvatu. V článku sú prezentované technické parametre tunela, spôsob a technológia výstavby vo väzbe na horninové prostredie, ako aj zmluvné podmienky, ktoré sú v tomto prípade mierne odlišné od doterajších projektov tohto typu, a pohľad zhotoviteľa na túto problematiku.

## ABSTRACT

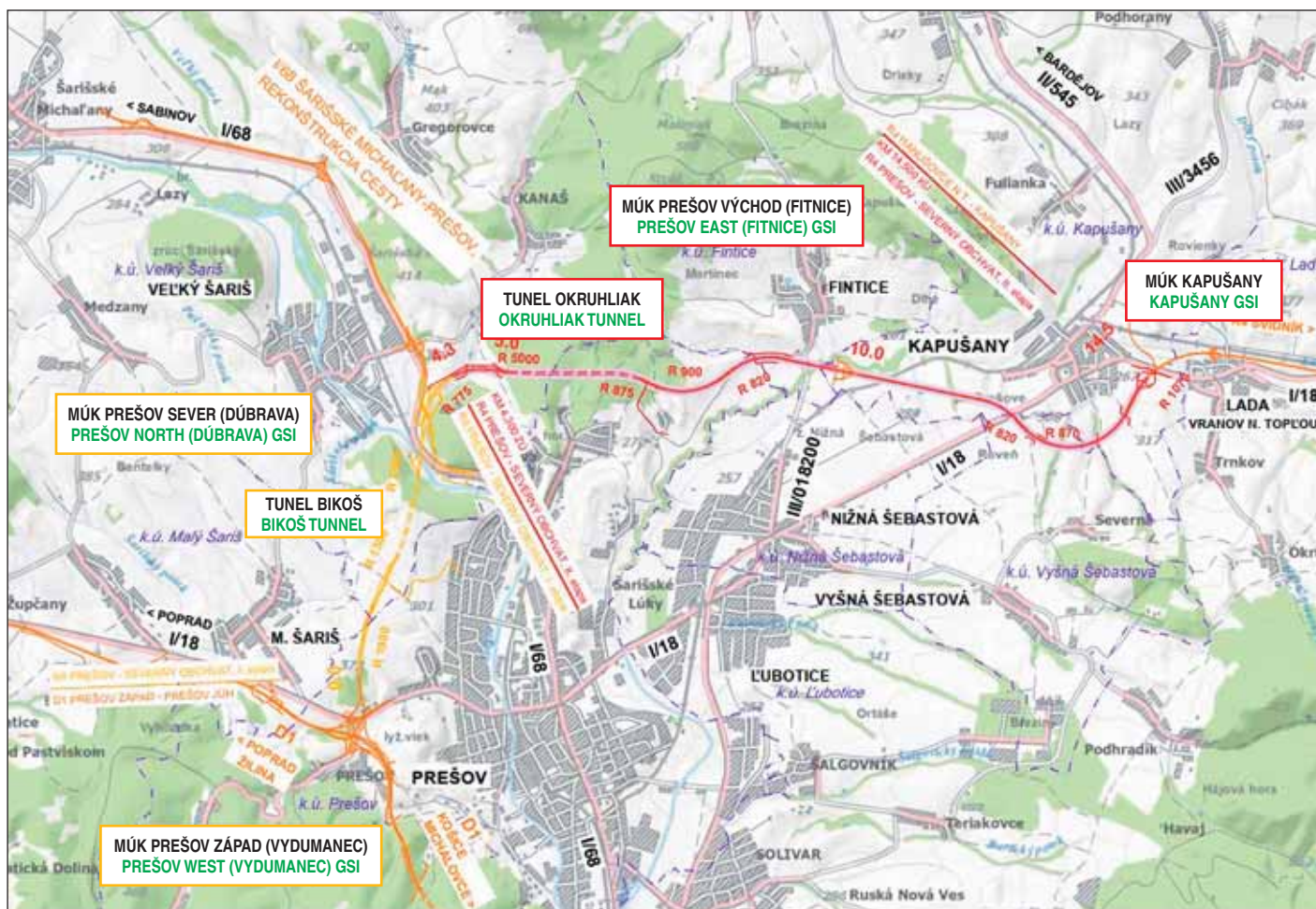
The aim of this article is to acquaint readers and the professional public with the Okruhliak tunnel, which is the third tunnel on the road infrastructure in the vicinity of Prešov, the third largest Slovak city. After the Prešov and Bikoš tunnels, which are already in operation, the construction of the Okruhliak tunnel, which is part of Phase II of the northern bypass, started on 30 September 2023. The article presents the technical parameters of the tunnel, the method and construction technology in relation to the ground environment, as well as the contractual conditions, which in this case are slightly different from previous projects of this type, and the contractor's view of this issue.

## ÚVOD

Tunel Okruhliak je časťou navrhovanej rýchlostnej cesty R4 Prešov – severný obchvat II. etapa km (4,3–14,5), ktorá je súčasťou severo – južného dopravného prepojenia rýchlostnou cestou

## INTRODUCTION

The Okruhliak Tunnel is a part of the proposed expressway R4 Prešov – northern bypass stage II (km 4.3–14.5), which is a part of the north-south transport connection by the expressway



zdroj: dokumentácia DRS, HBH, a. s. source: Detailed design documents, HBH, a. s.

Obr. 1 Prehľadná situácia stavby  
Fig. 1 General construction site lay-out

v úseku štátna hranica SR/PR – Vyšný Komárnik – Milhošť – štátna hranica SR/MR (obr. 1). Rýchlostná cesta má zabezpečiť prepojenie medzi diaľnicou D1 a rýchlostnou cestou R4. Objednávateľom stavby je Národná diaľničná spoločnosť a. s.

Zhotoviteľom je združenie firiem EUROVIA SK, a.s., EUROVIA CS, a.s., SMS a.s., VÁHOSTAV – SK, a.s., TuCon, a. s., kde TuCon, a. s. je zhotoviteľom stavebnej časti tunela Okruhliak. EUROVIA SK, a.s. a VÁHOSTAV – SK, a.s. sú zhotoviteľmi technologickej časti tunela. Projektantom zadávacej dokumentácie je Združenie „R4 PREŠOV“ zastúpené HBH Projekt spol. s r.o. [1].

## ZMLUVNÉ PODMIENKY

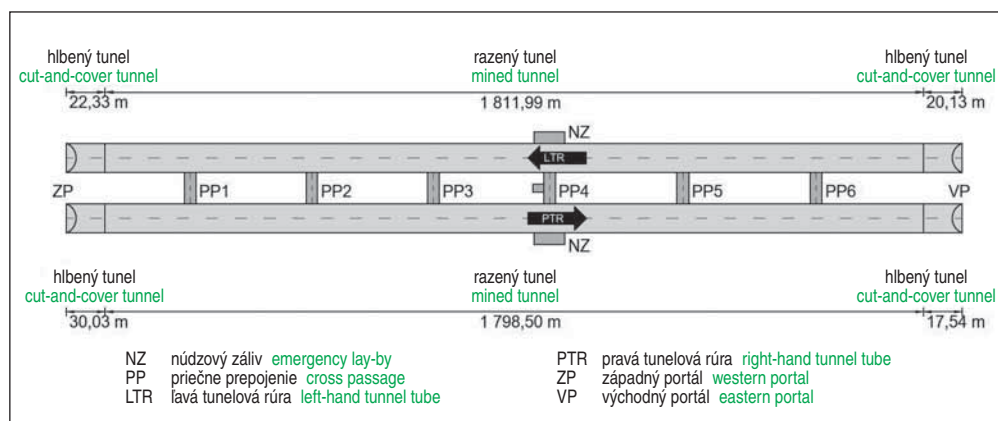
Medzi objednávateľom a zhotoviteľom je uzavretá zmluva o diele, ktorá sa zakladá na zmluvných podmienkach FIDIC – červená kniha pre stavebnú časť tunela Okruhliak a celej trasy, vrátane všeobecných položiek (meraný kontrakt, ocenený položkový rozpočet). Objednávateľ tu ponechal v platnosti článok 13.2 Zlepšovacie návrh, čo možno hodnotiť ako nekonvenčný a progresívny prístup a krok k možným úsporám na stavebných či prevádzkových nákladoch pre objednávateľa a v konečnom dôsledku pre celú spoločnosť. V praxi to znamená, že zhotoviteľ môže podať zlepšovacie návrh, ktorý ak bude prijatý, urýchli dokončenie, zníži náklady objednávateľa na realizáciu, údržbu alebo prevádzku diela, zlepši výkonnosť alebo hodnotu dokončeného diela. Usporenú čiastku si objednávateľ a zhotoviteľ, zjednodušene povedané, rozdelia na polovicu. Metodika pre samotné posudzovanie, oceňovanie zlepšovacieho návrhu a platbu zaň je v súčasnosti v riešení kompetentných odborných útvarov objednávateľa.

Pre technologické vybavenie tunela (technologické stavebné objekty) však platí požiadavka objednávateľa na vypracovanie a dodanie, okrem iného, aj dokumentácie realizovania stavby, kde pre realizáciu platí cena na jednotlivé stavebné objekty a zhotoviteľ sám navrhne, naprojektuje a postaví dielo podľa zadaných požiadaviek, noriem a predpisov v požadovanej kvalite.

## ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O TUNELI

Názov tunela, ktorý zabezpečí mimoúrovňové vedenie cestnej komunikácie cez masív, je odvodený od 391 m vysokého vrchu Okruhliak.

Orientácia trasy tunela podľa svetových strán je v osi západ – východ, podľa ktorej sa rozlišujú označenia portálov tunela na západný a východný. Oproti tomu tunelové rúry sú označené pravá a ľavá. To je zrejme z obr. 2.



Obr. 2 Schematické znázornenie tunela Okruhliak  
Fig. 2 Diagrammatic representation of the Okruhliak tunnel

in the state border SR/PR – Vyšný Komárnik – Milhošť – state border SR/MR section (Fig. 1). The expressway is intended to provide a connection between the D1 motorway and the R4 expressway. The construction project client is Národná diaľničná spoločnosť a. s.

The contractor is a joint venture of companies EUROVIA SK, a.s., EUROVIA CS, a.s., SMS a.s., VÁHOSTAV – SK, a.s., TuCon, a. s., where TuCon, a. s. is the contractor for the construction part of the Okruhliak tunnel. EUROVIA SK, a.s. and VÁHOSTAV – SK, a.s. are the contractors for the technological part of the tunnel. The designer for the tender design is the Association „R4 PREŠOV“ represented by HBH Projekt spol. s r.o. [1].

## CONTRACTUAL CONDITIONS

The work contract is concluded between the client and the contractor. It is based on the FIDIC Conditions of Contract – Red Book for the construction part of the Okruhliak tunnel and the entire route, including general items (a measured contract, a priced bill of quantities). The project owner has retained Article 13.2 Improvement Proposal in force. It can be seen as an unconventional and progressive approach and a step towards possible savings in construction or operating costs for the Project Client and ultimately for the whole society. In practice, this means that the contractor may submit an improvement proposal which, if accepted, will speed up completion, reduce the client's cost of construction, the maintenance or operation of the works, improve the performance or value of the completed works. The amount saved shall, in simple terms, be divided in half between the Client and the Contractor. The methodology for the actual assessment, valuation of the improvement proposal and payment for it is currently being addressed by the competent technical services of the Client.

For the technological equipment of the tunnel (technological construction objects), however, the client's requirement for the preparation and delivery of, among other things, the detailed design, where the costs of individual construction objects apply for the construction and the contractor himself proposes, designs and carries out the work according to the specified requirements, standards and regulations in the required quality.

## BASIC INFORMATION ON THE TUNNEL

The name of the tunnel, which will provide a grade-separated road through the massif, is derived from the 391m high peak Okruhliak.

The orientation of the tunnel route according to the cardinal directions is in the west-east axis, according to which the tunnel portal designations are distinguished as western and eastern. In contrast, the tunnel tubes are marked right and left. This can be seen in the following graphical representation (see Fig. 2).

According to STN 73 7507 Road Tunnel Design standard, the Okruhliak tunnel (see Fig. 3) is classified as a medium-length tunnel. The tunnel tubes are divided into mined sections and cut-and-cover sections, and will have one-way



Obr. 3 Vizualizácia portálu tunela Okruhliak  
Fig. 3 Visualisation of the Okruhliak tunnel portal

V zmysle STN 73 7507 Projektovanie cestných tunelov je tunel Okruhliak (obr. 3) zaradený medzi stredne dlhé tunely. Tunelové rúry sú rozdelené na úseky budované razením a hĺbením a budú prevádzkované jednosmerne s navrhovanou rýchlosťou 100 km/hod. Celková dĺžka pravej tunelovej rúry je 1 846,07 m a ľavej tunelovej rúry 1 854,45 m. V každej tunelovej rúre sa nachádza jeden jednostranný núdzový záliv umiestnený vpravo v smere jazdy. Šírka núdzového zálivu je 3,0 m. Súčasťou tunela je päť priechodných priečných prepojení a jedno prejazdne priečne prepojenie. Súčasťou priechodných priečných prepojení sú rozvodne pre technológiu, ktoré sú od priestoru únikovej cesty oddelené železobetónovou priečkou. V prejazdnom priečnom prepojení je navrhnutá rozrážka, v ktorej bude umiestnená rozvodňa a transformátorovňa. Protipožiarne výklenky s hydrantmi sa nachádzajú vždy vľavo v smere jazdy vo vzdialenosti max. 150 m. SOS výklenky sa

traffic with a design speed of 100km/h. The total length of the right tunnel tube is 1,846.07m and the left tunnel tube is 1,854.45m long. There is one single-sided emergency lay-by in each tunnel tube, located on the right side in the direction of travel. The emergency lay-by is 3.0m wide. The tunnel includes five cross passages passable for pedestrians and one cross passage passable for vehicles. The cross passages passable for pedestrians include distribution substations for equipment, which are separated from the escape route area by a reinforced concrete partition. An excavation stub which will accommodate a distribution substation and a transformer station is designed in the cross passage passable for vehicles. Fire protection niches are always located on the left side in the direction of travel at a maximum spacing of 150m. The SOS niches are always located on the right side in the direction of travel at a maximum distance of 150m.

Tab.1 Základné technické parametre tunela Okruhliak

Počet tunelových rúr	2 – PTR / LTR
Vedenie premávky	jednosmerné
Kategória tunela podľa STN 73 7507	2T – 7,5
Navrhovaná rýchlosť	100 km/hod
Celková dĺžka tunela (PTR/LTR)	1 846,07 m / 1 854,45 m
Dĺžka razených úsekov tunela (PTR/LTR)	1 798,50 m / 1 811,99 m
Dĺžka hĺbených úsekov tunela na západnom portáli (PTR/LTR)	30,03 m / 22,33 m
Dĺžka hĺbených úsekov tunela na východnom portáli (PTR/LTR)	17,54 m / 20,13 m
Pozdĺžny sklon (PTR/LTR)	1,09 % / 1,08 %
Priečný sklon (PTR/LTR)	2,5 %–2,8 % / 2,5 %–3,8 %
Počet priechodných prepojení	5
Počet prejazdnych prepojení	1
Počet núdzových zálivov (PTR/LTR)	1 / 1
Výška prejazdneho prierezu	4,8 m
Šírka chodníkov	1,0 m
Svetlá výška nad chodníkom	2,2 m

Table 1 Basic technical parameters of the Okruhliak tunnel

Number of tunnel tubes	2 – RTT / LTT
Traffic direction	unidirectional
Tunnel category according to STN 73 7507	2T – 7.5
Design speed	100km/hour
Total tunnel length (RTT/LTT)	1,846.07m / 1,854.45m
Length of mined tunnel sections (RTT/LTT)	1,798.50m / 1,811.99m
Length of cut-and-cover tunnel sections at western portal (RTT/LTT)	30.03m / 22.33m
Length of cut-and-cover tunnel sections at eastern portal (RTT/LTT)	17.54m / 20.13m
Longitudinal slope (RTT/LTT)	1.09% / 1.08%
Cross slope (RTT/LTT)	2.5%–2.8% / 2.5%–3.8%
Number of cross passages	5
Number of cross passages for vehicles	1
Number of emergency lay-bys (RTT/LTT)	1 / 1
Height of cross passage for vehicles	4.8m
Width of pavements	1.0m
Clear height above pavement	2.2m

nachádzajú vždy vpravo v smere jazdy vo vzdialenosti max. 150 m. V každej tunelovej rúre sa nachádza 14 požiarnych a 14 SOS výklenkov, z ktorých 5 výklenkov v každej rúre je združených s čistiacimi výklenkami. Pozdĺžny sklon oboch tunelových rúr je navrhnutý ako jednosmerný, so stúpaním od západného portálu smerom k východnému v sklone 1,09 % (PTR) a 1,08 % (LTT). Priečny sklon oboch tunelových rúr je jednostranný, v PTR od

There are 14 fire and 14 emergency niches in each tunnel tube, of which 5 niches in each tube are combined with drainage cleaning niches. The longitudinal slope of both tunnel tubes is designed as unidirectional, with the uphill gradient from the western portal towards the eastern portal of 1.09% (RTT) and 1.08% (LTT). The cross-slope of both tunnel tubes is unidirectional, varying from 2.5 to 2.8% in the RTT and from 2.5 to 3.8% in the LTT. The basic

R4 Prešov – severný obchvat (km 4,3–14,5)														
SO	Názov úlohy	Trvanie	Gantt chart grid											
			2024		2025		2026		2026					
			2. polrok	1. polrok	2. polrok	1. polrok	2. polrok	1. polrok	2. polrok	1. polrok	2. polrok			
			Stvrt. 3	Stvrt. 4	Stvrt. 1	Stvrt. 2	Stvrt. 3	Stvrt. 4	Stvrt. 1	Stvrt. 2	Stvrt. 3	Stvrt. 4		
	Tunel Okruhliak	948 dní												
402-00-01-11-01	Západný portál na razenie a HTÚ	120 dní												
402-00-01-12-02	Západný portál KTÚ	60 dní												
402-00-02-11-01	Východný portál na razenie a HTÚ	90 dní												
402-0002-12-02	Východný portál KTÚ	60 dní												
402-00-03	Hlbenný tunel	79 dní												
402-00-04-01	<b>Razený tunel</b>	<b>580 dní</b>												
	Razenie a primárne ostenie západný portál LTR	340 dní												
	Razenie a primárne ostenie západný portál PTR	370 dní												
	Razenie a primárne ostenie východný portál LTR	370 dní												
	Razenie a primárne ostenie východný portál PTR	359 dní												
402-00-04-02	<b>Sekundár</b>	<b>330 dní</b>												
402-00-04-03	Vnútorne konštrukcie	22 dní												
402-00-05	Priečne prepojenie	601 dní												
402-00-06	Drenážne odvodnenie tunela	350 dní												
402-00-07	Odvodnenie vozovky	150 dní												
402-00-08	Vozovka a chodníky	150 dní												
402-00-09	Technologická centála na západnom portáli	165 dní												
402-00-10	Technologická centála na východnom portáli	165 dní												
402-00-11	Kolektory a kábelovody na západnom portáli	120 dní												
402-00-12	Kolektory a kábelovody na východnom portáli	120 dní												
402-00-13	Potrubná časť	120 dní												
402-00-14	Rozvodňa VN pre trafostanicu	60 dní												

R4 Prešov – northern bypass (km 4,3–14,5)														
CO	CO Task title	Duration	Gantt chart grid											
			2024		2025		2026		2026					
			2 <sup>nd</sup> half a year	1 <sup>st</sup> half a year	2 <sup>nd</sup> half a year	1 <sup>st</sup> half a year	2 <sup>nd</sup> half a year	1 <sup>st</sup> half a year	2 <sup>nd</sup> half a year	1 <sup>st</sup> half a year	2 <sup>nd</sup> half a year			
			quarter 3	quarter 4	quarter 1	quarter 2	quarter 3	quarter 4	quarter 1	quarter 2	quarter 3	quarter 4		
	<b>Okruhliak tunnel</b>	<b>948 days</b>												
402-00-01-11-01	Western portal for general surface cutting	120 days												
402-00-01-12-02	Western portal for final surface cutting	60 days												
402-00-02-11-01	Eastern portal for general surface cutting	90 days												
402-0002-12-02	Eastern portal for final surface cutting	60 days												
402-00-03	Cut-and-cover tunnel	79 days												
402-00-04-01	<b>Mined tunnel</b>	<b>580 days</b>												
	Excavation and primary lining western portal LTT	340 days												
	Excavation and primary lining western portal RTT	370 days												
	Excavation and primary lining eastern portal LTT	370 days												
	Excavation and primary lining eastern portal RTT	359 days												
402-00-04-02	<b>Secondary lining</b>	<b>330 days</b>												
402-00-04-03	Internal structures	22 days												
402-00-05	Cross passages	601 days												
402-00-06	Tunnel drainage	350 days												
402-00-07	Roadway drainage	150 days												
402-00-08	Roadway and pavements	150 days												
402-00-09	Services area at western portal	165 days												
402-00-10	Services area at eastern portal	165 days												
402-00-11	Collectors and cableways at western portal	120 days												
402-00-12	Collectors and cableways at eastern portal	120 days												
402-00-13	Pipelines part	120 days												
402-00-14	HV distribution substation for transformer station	60 days												

Obr. 4 Zjednodušený harmonogram prác na výstavbu tunela Okruhliak  
Fig. 4 Simplified works schedule for the Okruhliak tunnel construction

2,5 do 2,8 %, v LTR od 2,5 do 3,8 %. Základné technické parametre tunela Okruhliak sú uvedené v tabuľke č. 1.

## GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODMIENKY TUNELA OKRUHLIAK

V celom koridore tunela Okruhliak je horninový masív budovaný komplexom aleuriticko-pelitických hornín. Komplex reprezentuje súvrstvie neogénnych hornín – spodný miocén, vek egenburg. Podľa geologickej mapy severnej časti Slánskych vrchov a Košickej kotliny sa vrstvy zaraďujú k Prešovskému súvrstviu, ktoré je zastúpené dvomi litofaciálnymi vývojmami. Súvrstvie je súčasťou sedimentov neogénnej panvy vyplnenej sedimentmi hlavnej molasy (egenburg – sarmat) a reprezentuje jej severozápadný okraj – prešovskú depresiu. Je ohraničená tektonicky a molasovú výplň porušujú zlomy troch základných smerov. Sú to zlomy pozdĺžne (SZ–JV), priečne (SV–JZ) a kosé (S–J). V trase tunela sa vyskytujú nasledovné typy hornín:

- íly a ílovce úplne zvetrané;
- ílovce a siltovce silno a stredne zvetrané;
- ílovce slabo zvetrané a zdravé;
- siltovce slabo zvetrané a zdravé;
- pieskovce silno a stredne zvetrané;
- pieskovce slabo zvetrané a zdravé.

Pri raziacich prácach je nutné očakávať vlhké až mokré prostredie s rozptýlenými až jednotlivými, sústredenými prítokmi do cca 1–3 l/s, ktoré však s postupom prác budú znižovať svoju výdatnosť.

Z dôvodu mineralogického zloženia hornín, prachovitých ílovcov a siltovcov, vysokého obsahu minerálu smektit do 80–90 %, sú horniny citlivé na zmenu vlhkosti po kontakte s vodou. Na základe skúšok tlaku z napúčania a objemových zmien z napúčania boli laboratórne stanovené objemové zmeny, ktoré sa pohybujú v intervale 0,61–6,69 %. Hodnoty tlakov z napúčania sú v rozsahu 0,754–2,922 MPa. Aj z tohto dôvodu sú horniny (ílovce, siltovce) po vystavení poveternostným vplyvom (po vyťažení, odvrátení) nestabilné a rýchlo sa rozpadajú na úlomky až drevu.

## ORGANIZÁCIA VÝSTAVBY

Tunel Okruhliak pozostáva zo stavebnej a technologickej časti. Stavebnú časť tvorí 18 a technologicкую časť 15 stavebných objektov. Vzhľadom na to, že zhotoviteľ naplánoval začatie razenia zo západného portálu, ako prvý sa začne realizovať stavebný objekt „Západný portál na razenie a hrubé terénne úpravy“. Tomu však ešte predchádza realizácia pyrotechnického a archeologického prieskumu, ako aj príprava územia pre stavebnú činnosť, ktorá okrem iného pozostáva z výrubu drevín a odstránenia ornice v trvalých a dočasných záberoch stavby. Tieto práce sa v čase písania

Tab. 2 Navrhnuté vystrojovacie triedy a ich predpokladané zastúpenie v trase razeneho tunela Okruhliak

Vystrojovacia trieda	Celkom pravá tunelová rúra [m]	Celkom ľavá tunelová rúra [m]	Zastúpenie pravá tunelová rúra [%]	Zastúpenie ľavá tunelová rúra [%]
VT III-S1	216,0	264,0	12	15
VT IV-S1	504,0	480,0	28	26
VT Va-S1	156,0	168,0	9	9
VT V – S2	535,3	504,0	30	28
VT Va-S2	156,0	132,0	9	7
VT Vb-S2 MP	171,2	204,0	10	11
VT Va-NZ	60,0	60,0	3	3

technical parameters of the Okruhliak tunnel are presented in Table 1.

## GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE OKRUHLIAK TUNNEL

Throughout the Okruhliak tunnel corridor, the rock mass is built up by a complex of Aleuritic-Pelitic rock types. The complex is represented by a Neogene rock layer – Lower Miocene, Egenburg age. According to the geological map of the northern part of the Slánské Hills and the Košice Basin, the layers belong to the Prešov Formation, which is represented by two lithofacial developments. The stratum is part of the sediments of the Neogene basin filled with sediments of the Main Molasse (Egenburg-Sarmatian) and represents its northwestern margin – the Prešov Depression. It is bounded tectonically and the molasse fill is faulted in three basic directions. These are longitudinal faults (NW–SE), dip-slip faults (NE–SW) and strike-slip faults (N–S). The following rock types occur in the tunnel route:

- clay and claystone fully weathered;
- claystone and siltstone heavily to medium weathered;
- claystone weakly weathered and fresh;
- siltstone weakly weathered and fresh;
- sandstone heavily and medium weathered;
- sandstone weakly weathered and fresh.

During the mining work it is necessary to expect a humid to wet environment with scattered to individual, concentrated inflows of up to about 1–3L/s, which, however, will decrease in yield with the progress of the work.

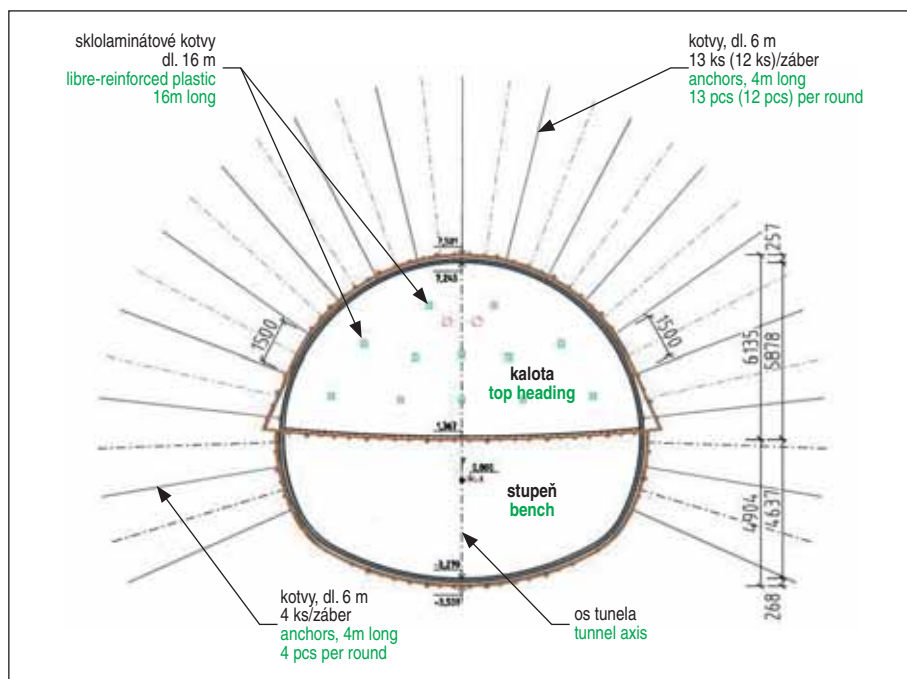
Due to the mineralogical composition of the rock types, silty clay and siltstone, the high content of the smectite mineral up to 80–90%, the rock types are sensitive to changes in the moisture content after contact with water. On the basis of swelling pressure tests and volumetric changes caused by swelling, volumetric changes have been determined in the laboratory and they range from 0.61 to 6.69%. The values of the swelling pressures are in the range of 0,754–2,922MPa. Also for this reason, rocks (claystones, silts) are instable after exposure to weathering (after breaking out, drilling) and rapidly disintegrate into fragments to rubble.

## CONSTRUCTION ORGANISATION

The Okruhliak Tunnel consists of a construction and a technological part. The construction part consists of 18 construction objects and the technological part of 15 objects. As the contractor has planned to start the mining from the western portal, the construction object “Western portal for excavation and rough landscaping” will be the first to be carried out. However, this is

Table 2 Proposed excavation support classes and their expected representation in the route of the Okruhliak mined tunnel

Excavation support class	Right tunnel tube total [m]	Left tunnel tube total [m]	Representation right tunnel tube [%]	Representation left tunnel tube [%]
VT III-S1	216.0	264.0	12	15
VT IV-S1	504.0	480.0	28	26
VT Va-S1	156.0	168.0	9	9
VT V – S2	535.3	504.0	30	28
VT Va-S2	156.0	132.0	9	7
VT Vb-S2 MP	171.2	204.0	10	11
VT Va-NZ	60.0	60.0	3	3

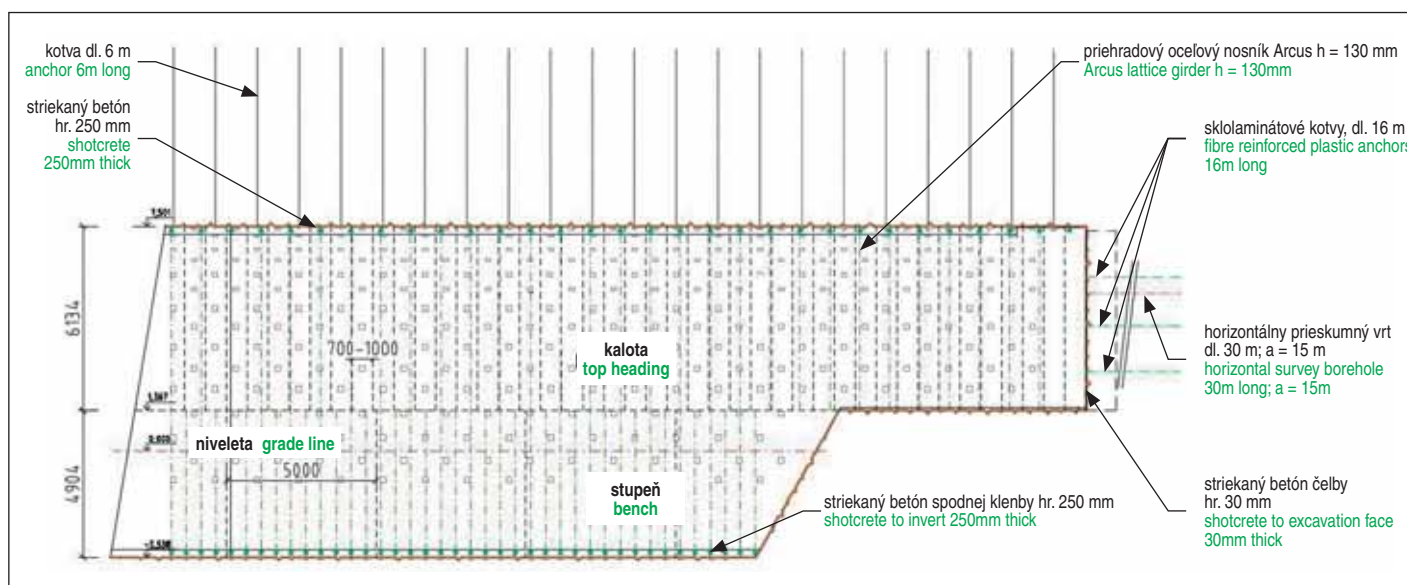


Obr. 5 Postup razenia a návrh vystrojenia VT V – S2 (pričný rez)

Fig. 5 Excavation procedure and VT V – S2 excavation support design (cross-section)

preceded by conducting a pyrotechnical and archaeological survey, as well as the preparation of the area for the construction activity, which consists of, among other things, the felling of trees and the removal of topsoil in the permanent and temporary works. These works are being carried out at the time of writing. The pyrotechnical survey is carried out in this locality because the fighting during the Second World War during the Slovak National Uprising took place here, and the number of ammunition finds is very extensive, especially in the Prešov region.

Once the construction pit at the western portal is finished, the excavation of the tunnel tubes will start. During the excavation from the west, the contractor will construct the construction pit at the eastern portal and then start the excavation from that side as well. This will shorten the time for the primary lining object, for which a milestone has been



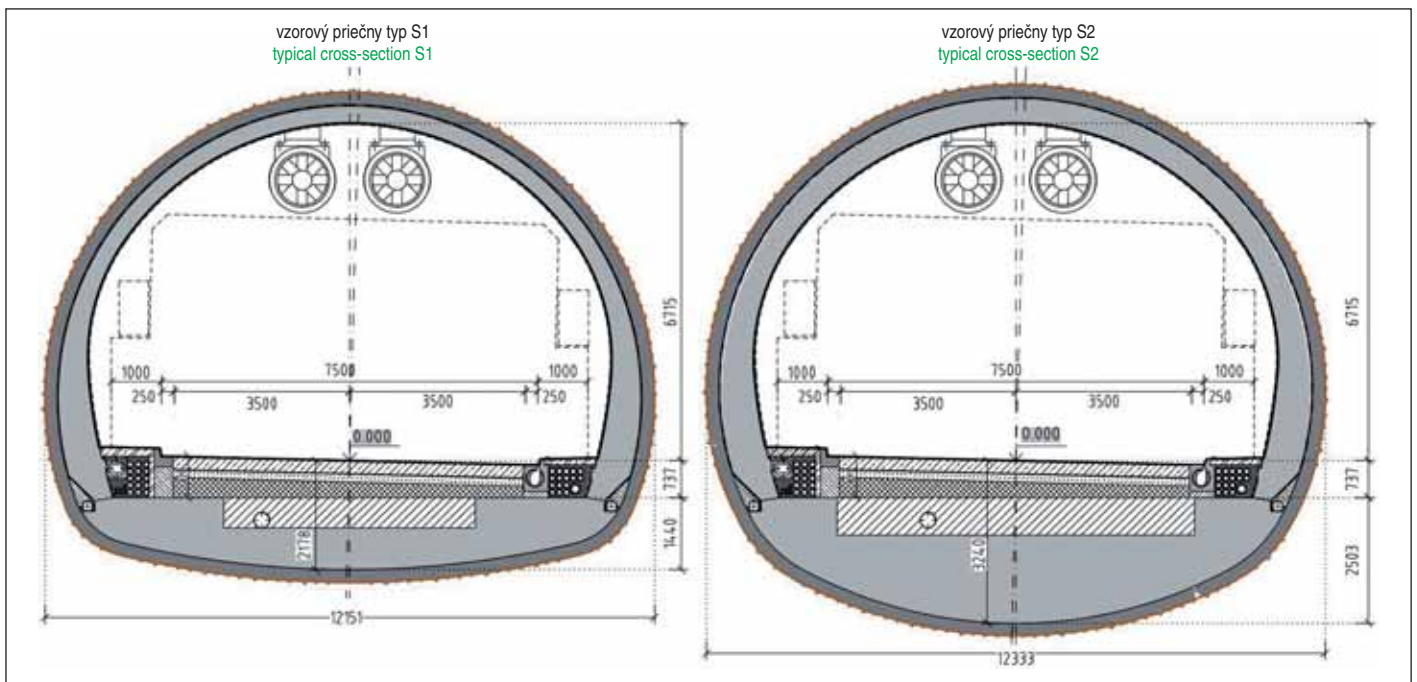
Obr. 6 Postup razenia a návrh vystrojenia VT V – S2 (pozdĺžny rez)

Fig. 6 Excavation procedure and VT V – S2 (longitudinal section)

článku realizujú. Pyrotechnický prieskum sa v tejto lokalite robí preto, lebo tu prebiehali boje počas druhej svetovej vojny a Slovenského národného povstania, a najmä v Prešovskom kraji je počet nálezov munície veľmi rozsiahly.

Po vybudovaní stavebnej jamy na západnom portáli sa začne s razením tunelových rúr. Počas razenia zo západu bude zhotoviteľ realizovať stavebnú jamu na východnom portáli a následne začne raziť aj z tejto strany. Tým sa čas na realizáciu objektu primárneho ostenia, na ktorý bol objednávateľom stanovený mílnik, skráti. Objávateľ zároveň stanovil mílnik na ukončenie objektu sekundárneho ostenia, preto zhotoviteľ začne tento objekt realizovať súbežne s raziacimi prácami. Šesť priečných prepojení dostatočného prierezu umožní prejazd všetkým mechanizmom z pravej tunelovej rúry do ľavej a naopak, čím sa výrazne zlepšia logistické možnosti a organizácia prác. S realizáciou sekundárneho ostenia

set by the client. At the same time, the client has set a milestone for the completion of the secondary lining, so the contractor will start to work on this object concurrently with the excavation works. Six cross passages with a sufficient cross-section will allow all machinery to pass from the right tunnel to the left tunnel and vice versa, which will significantly improve the logistical possibilities and the organisation of the work. The tunnel drainage will be carried out concurrently with the construction of the secondary lining. Subsequently, the roadway drainage will be constructed along with the cable routes under the footpaths, the fire water mains, the footpaths themselves, the pavement, the coating of the lining, the buildings of the services centres, as well as the cable ducts at both portals. After the completion of the objects of the construction part, but also in parallel with some of them, the work on the technological part of the Okruhliak tunnel will begin.



Obr. 7 Vzorové priečné rezy – typ S1 a S2

Fig. 7 Typical cross-section – types S1 a S2

sa bude robiť drenážne odvodnenie. Následne sa vyhotoví odvodnenie vozovky spolu s kábovými trasami pod chodníkmi, požiarne vodovod, samotné chodníky, vozovka, náter ostenia, budovy technologických centrál, ako aj kábovody na oboch portáloch. Po realizácii objektov stavebnej časti, ale aj v súbehu s niektorými, sa začne realizovať technologická časť tunela Okruhliak.

Na obr. 4 možno vidieť zjednodušený harmonogram prác na výstavbu tunela Okruhliak, z ktorého sú zrejme minimálne požadované výkony na razenie a betonáž. Aby sa dodržal harmonogram,

Tab. 3 Strojnó – technické vybavenie na razenie tunela Okruhliak

Skupina	Názov mechanizmu	Počet nasadených kusov
Báger	Tunnelbager Liebherr R950	3
	Tunnelbager Liebherr R944	2
	Tunnelbager Liebherr R924	3
	Minibager CAT 305	2
Striekací stroj	Meyco Potenza	6
Dumper	Komatsu HM300	1
	GHH MK30	3
	Volvo A25	5
Nakladač	CAT966G	2
	CAT966H	1
	Komatsu WA470	1
	Liebherr 566X	2
	CAT908C	1
	CAT906M	1
Vrtný voz	Sandvik DT1130	2
	Sandvik DT820	1
	Tamrock Axera T08	1
	Atlas Copco E2C	2
Plošina	Dieci 3B.28	3
	GTA Normlifter 1600	1
	GTA Normlifter 750	2
Manipulátor	Manitou MRT 1635	2
	Manitou MT 932	2

Figure 4 shows a simplified schedule of works for the construction of the Okruhliak tunnel, which shows the minimum performance for excavation and concreting required. In order to meet the schedule, the contractor will be required to excavate a minimum of 3.11m of the tunnel on average in each tunnel tube per day and to concrete at least 1 block of the upper vault of the final lining including the blocks for the emergency lay-by in each tunnel tube, every 48 hours.

Table 3 Mechanical-technical equipment for driving the Okruhliak tunnel

Group	Type of equipment	Number of pieces employed
Excavator	Tunnelbager Liebherr R950	3
	Tunnelbager Liebherr R944	2
	Tunnelbager Liebherr R924	3
	Minibager CAT 305	2
Shotcrete machine	Meyco Potenza	6
Dumper	Komatsu HM300	1
	GHH MK30	3
	Volvo A25	5
Loader	CAT966G	2
	CAT966H	1
	Komatsu WA470	1
	Liebherr 566X	2
	CAT908C	1
	CAT906M	1
Drilling rig	Sandvik DT1130	2
	Sandvik DT820	1
	Tamrock Axera T08	1
	Atlas Copco E2C	2
Platform	Dieci 3B.28	3
	GTA Normlifter 1600	1
	GTA Normlifter 750	2
Manipulator	Manitou MRT 1635	2
	Manitou MT 932	2



Obr. 8 3D model debniaceho voza  
Fig. 8 3D model of the formwork truck

zhotoviteľ bude musieť v každej tunelovej rúre denne vyraziť v priemere minimálne 3,11 m a každých 48 hodín vybetónovať minimálne 1 blok hornej klenby definitívneho ostenia, vrátane blokov pre núdzový záliv v každej tunelovej rúre.

## RAZENIE TUNELA

Konštrukcia razeného tunela je tvorená dvojvrstvovým ostením (primárnym a sekundárnym) s medzilahlou drenážnou a ochrannou vrstvou a plošnou hydroizoláciou. Razenie bude prebiehať podľa zásad Novej rakúskej tunelovej metódy. NRTM je cyklická metóda razenia, pri ktorej sa horninový masív zatrieduje do vystrojovacích tried, navrhnutých a označených v súlade s TP 021 Vystrojovacie triedy – Časť 1: Cyklické razenie. Navrhnuté vystrojovacie triedy, ako aj ich predpokladané zastúpenie v trase razeného tunela Okruhliak sú uvedené v tabuľke 2.

Pri všetkých vystrojovacích triedach sa čelba delí na kalotu, stúpeň a spodnú klenbu. Vzhľadom na zastúpenie hornín náchylných na napúčanie je v trase tunela spodná klenba navrhnutá po celej jeho dĺžke. Na obr. 5 a 6 je znázornený postup razenia a vystrojovania v najviac zastúpenej vystrojovacej triede VT V – S2.

Konštrukcia primárneho ostenia pozostáva zo striekaného betónu, výstužných prvkov (prútová oceľová výstuž, zvarované oceľové siete, oceľové priehradové nosníky), systémového radiálneho kotvenia a z opatrení pre stabilizáciu obrysu výrubu, nadložia a čelby (kotvenie, ihľovanie a mikropilotové dáždniky). Vzhľadom na geologické pomery sa predpokladá prevažne mechanické rozpojovanie hornín pomocou tunelových bágrov. V úsekoch tvorených zdravšími a pevnejšími horninami bude rozpojovanie hornín realizované pomocou vrtno-trhacích prác. Na vrátnie vývrtov pre nálože, ale aj pre aplikáciu zabezpečovacích prvkov (kotiev, ihľiel, mikropilot, dáždnika) budú nasadené vrtné vozy Sandvik. Odťažba rozpojenej horniny bude realizovaná čelnými kolesovými nakladačmi do dumpov, ktoré rúbaninu vyvezú na určené miesto. Po rozpojení a odťažení nasleduje fáza vystužovania, resp. budovania primárneho

## TUNNEL EXCAVATION

The construction of the mined tunnel consists of a two-layer lining (primary and secondary layers) with an intermediate drainage and a protective layer and sheet waterproofing. The driving will be carried out according to the principles of the New Austrian Tunnelling Method. The NATM is a cyclic method of tunnel excavation in which the ground mass is classified into excavation support classes, designed and marked in accordance with TP 021 Excavation Classes – Part 1: Cyclic Excavation. The proposed excavation support classes, as well as their expected representation in the route of the Okruhliak tunnel, are shown in Table 2.

In all excavation support classes, the excavation face is divided into top heading, bench and invert. Due to the presence of ground susceptible to swelling, the invert is designed along the entire length of the tunnel. Figures 5 and 6 show the excavation and support system in the most frequently represented support class VT V – S2.

The structure of the primary lining consists of shotcrete, reinforcing elements (steel rebar, welded steel mesh, steel lattice girders), radial anchoring system and measures for stabilizing the contour of the excavation, overburden and face (anchoring, needling and micropile umbrellas). Due to the geological conditions, it is assumed that the rocks will be mainly broken mechanically by means of tunnel excavators. In the sections made up of fresher and stronger rocks, the rock will be broken by means of drilling and blasting. Sandvik drilling rig will be deployed to drill boreholes for the charges as well as for the installation of excavation support elements (anchors, needles, micropiles). The removal of the broken rock will be carried out by wheeled front-end loaders into dump trucks, which will transport the rubble to the designated location. After breaking and removing the rock, the supporting phase or installing the primary lining will follow. Sprayed concrete will be applied using MEYCO Potenza shotcrete placer truck with a theoretical capacity of 20m<sup>3</sup> of sprayed concrete/hour.

Due to the need for concurrent excavation from both portals,

Tab. 4 Skladba konštrukcie cementobetónovej vozovky v tuneli Okruhliak

Konštrukčná vrstva	Hrúbka vrstvy	Norma
CB I (H) betón C30/37 – XF4 (SK) – Dmax32	100 mm	STN 73 6123
CB I (S) betón C30/37 – XF4 (SK) – Dmax32	150 mm	STN 73 6123
GTX netkaná geotextília 500 g/m <sup>2</sup>	2,5 mm	STN EN ISO 9864
Cementom stmelená zmes CBGM C5/6 22	160 mm	STN 73 6124 -1
Nestmelená vrstva zo štrkodrviny UMŠD; 31,5 (45) GC	min. 160 mm	STN 73 6123
<b>Celkom</b>	<b>min. 572,5 mm</b>	

Table 4 Composition of the cement concrete roadway structure in the Okruhliak tunnel

Structural layer	Layer thickness	Standard
CB I (H) concrete C30/37 – XF4 (SK) – Dmax32	100mm	STN 73 6123
CB I (S) concrete C30/37 – XF4 (SK) – Dmax32	150mm	STN 73 6123
GTX nonwoven geotextile 500g/m <sup>2</sup>	2.5mm	STN EN ISO 9864
Cement unbound mixture CBGM C5/6 22	160mm	STN 73 6124 -1
Unbound layer of crushed gravel UMŠD; 31,5 (45) GC	min. 160mm	STN 73 6123
<b>Total</b>	<b>Min. 572.5mm</b>	



Tab. 5 Predpokladané množstvá nosných materiálov a vyťaženej horniny

Materiál	Merná jednotka	Množstvo
Vyrazená hornina	m <sup>3</sup>	394 240
Hornina z výkopov	m <sup>3</sup>	71 137
Striekací betón	m <sup>3</sup>	59 782
Zaistovacie prvky – kotvy	ks	60 000
Mikropilóty	m	23 450
Oceľ	t	18 173
Betón	m <sup>3</sup>	112 800

ostenia. Striekací betón bude aplikovaný pomocou striekacích zariadení MEYCO Potenza s teoretickým výkonom 20 m<sup>3</sup> striekaného betónu/hod.

Vzhľadom na potrebu razenia súčasne z oboch portálov, teda v štyroch čelbách, bude potrebné nasadenie veľkého počtu zamestnancov, ako aj strojno-technického vybavenia. Na razení sa bude pracovať v nepretržitej prevádzke 24 hodín denne 7 dní v týždni. V procese razenia tunela sa na prípravu, organizácii a realizácii bude podieľať 23 technických pracovníkov, 130 tunelárov a podporných pracovníkov, 26 pracovníkov strojnej a elektro údržby, subdodávateľia na geodetické merania a geotechnický monitoring.

## SEKUNDÁRNE OSTENIE

Definitívnu nosnú konštrukciu razeného tunela tvorí sekundárne ostenie, ktoré pozostáva z dvoch základných častí – zo spodných a horných klenieb.

V tuneli Okruhliak sú v závislosti od horninového prostredia navrhnuté tri základné typy tvaru sekundárneho ostenia. Tvar S1 je uvažovaný v horninovom prostredí s lepšími parametrami hornín. Použitie tvaru S2 je predpokladané v priortálových úsekoch, v úseku pri núdzovom zálive a v horninovom prostredí tvorenom ílovcami, slieňovcami a prachovcami horších pevnostných parametrov. V núdzových zálivoch bude použitý osobitný tvar. Vzorové pričné rezy typu S1 a S2 sú znázornené na obr. 7.

Ako základové konštrukcie sekundárneho ostenia sú navrhnuté spodné klenby zo železobetónu triedy C25/30 – XC3, XF2, XA2 – Cl 0,20 – Dmax16 – S4. Minimálna hrúbka spodnej klenby pre typ S1 je 657 mm, pre typ S2 je to 923 mm a pre typ NZ je to 616 mm. Horné klenby sekundárneho ostenia sú navrhnuté zo železobetónu triedy C30/37 (35/45, 40/50) – XC3, XF2(4)(SK) – Cl 0,20 – Dmax16 – S4. Ostenie tunela bude z viacerých typov vystuženia v závislosti od kvality horninového masívu v mieste konkrétneho bloku tunela. Štandardná dĺžka bloku je 12 m. Minimálna hrúbka sekundárneho ostenia je 350 mm v tvare S1, 500 mm v tvare S2 a 550 mm v tvare NZ.

Realizácia sekundárneho ostenia začne po vyrazení zhruba ¾ dĺžky tunelových rúr. Začiatok betonáže bude rovnako ako pri razení od západného portálu smerom na východ v oboch tunelových rúrach. Na realizáciu betónových klenieb spoločnosť TuCon použije dve zostavy špeciálnych vozov (vysrápkový, armovací, debniaci voz, obr. 8), ktoré má vo vlastníctve.

Pred armovaním horných klenieb sa bude realizovať medzilahlá izolácia medzi primárnym a sekundárnym ostením. Spolu s budovaním spodných klenieb sa bude taktiež realizovať drenážne odvodnenie tunela, ktoré pozostáva z postranných drenáží za rubom ostenia a zo stredového zberača. V prípade priaznivých výsledkov hydrogeologického prieskumu a v súvislosti s predchádzajúcimi skúsenosťami Zhotoviteľa s výstavbou tunelov v okolí Prešova je

Table 5 Expected quantities of supporting materials and excavated ground

Material	Measuring unit	Quantity/Volume
Excavated ground	m <sup>3</sup>	394 240
Ground from trenches	m <sup>3</sup>	71 137
Shotcrete	m <sup>3</sup>	59 782
Support elements – anchors	ks	60 000
Micropiles	m	23 450
Steel	t	18 173
Concrete	m <sup>3</sup>	112 800

i.e. in four excavation faces, the deployment of a large number of personnel as well as machinery and technical equipment will be necessary. The excavation will be carried out on a 24-hour-a-day, 7-day-a-week basis. In the tunnelling process, 23 technical employees, 130 tunnellers and support workers, 26 mechanical and electrical maintenance workers, subcontractors for land surveying and geotechnical monitoring will be involved in the preparation, organization and execution of the tunnelling.

## SECONDARY LINING

The final load-bearing structure of the bored tunnel is the secondary lining, which consists of two basic parts – the lower and upper vaults. In the Okruhliak tunnel, three basic types of secondary lining geometry are designed depending on the ground environment. The S1 shape is considered for ground environments with better ground parameters. The use of S2 shape is foreseen in the near-portal sections, in the section near the emergency lay-by and in the rock environment consisting of claystone, siltstone and siltstone with worse strength parameters. A special geometry will be used in the emergency lay-bys. Sample cross sections of type S1 and S2 are shown in Figure 7. Typical cross-sections are demonstrated in Fig. 7.

Inverts for reinforced concrete class C25/30 – XC3, XF2, XA2 – Cl 0,20 – Dmax16 – S4 are designed as the foundation structures of the secondary lining. The minimum thickness of the invert for type S1 is 657mm, for type S2 it is 923mm and for type NZ it is 616mm. The upper vaults of the secondary lining are designed in reinforced concrete class C30/37 (35/45, 40/50) – XC3, XF2(4) (EN) – Cl 0,20 – Dmax16 – S4. The tunnel lining will be carried out using several types of reinforcement depending on the quality of the ground mass at the location of the specific tunnel block. The standard length of the block is 12m. The minimum thickness of the secondary lining is 350mm for S1 shape, 500mm for S2 shape and 550mm for NZ shape.

The work on the secondary lining will start after about ¾ of the tunnel tubes lengths have been excavated. The start of concrete pouring will be the same as for the excavation from the western portal towards the eastern portal in both tunnel tubes. TuCon will use two sets of special trucks (repair, reinforcement, formwork truck, Fig. 8), which it owns by itself, to complete the concrete vaults.

Before installing the reinforcement of the upper vaults, the intermediate waterproofing between the primary and secondary linings will be placed. Along with the work on the inverts, the tunnel drainage, the design of which consists of side drains behind the external surface of the lining and also a central collector, will also be carried out. If the hydrogeology is favorable, and in line with the contractor's previous experience with tunnel construction in the Prešov area, this is possible, the diameter of the side drainage pipes will be increased and the central collector will be abandoned.

možné, že dôjde k zväčšeniu priemeru postranných drenážnych rúr a upustí sa od realizácie stredového zberača.

Vypustením stredovej drenáže by sa znížilo riziko poškodenia vozovky okolo drenážnych šácht, čo má za následok nižšie prevádzkové náklady počas užívania diela. Taktiež by sa znížili náklady na čistenie stredového zberača a znížilo by sa riziko zanášania postranných drenážnych rúr vplyvom zvýšenia objemu odvádzaných horninových vôd.

## OSTATNÉ STAVEBNÉ OBJEKTY

Súčasne s postupom betonáže sekundárneho ostenia zhotoviteľ začne s realizáciou obrubníkov a štrbinových žlabov. Tieto prvky sú súčasťou odvodnenia vozovky a samotnej vozovky. Vybudovanie týchto konštrukcií vytvorí priestor pre ukladanie a následnú betonáž káblových chráničiek, v ktorých budú vedené vysoko- a nízkonapäťové káble. S betonážou chráničiek zároveň vznikne kanál pre potrubie požiarneho vodovodu. Požiarne vodovod zabezpečí vodu na hasenie požiaru. Je navrhnutý v súlade s TP 099 Protipožiarne bezpečnosť cestných tunelov na potrebu vody pre hasenie v objeme 20 l/s. Vodovod bude trvale zavodený a potrebný prevádzkový tlak 0,6 až 1,0 MPa zabezpečí automatická tlaková stanica. Súčasťou objektu požiarneho vodovodu je aj požiarne nádrž s objemom 190 m<sup>3</sup>, vodovodná prípojka, odberné miesta – hydranty a automatické vzdušníky.

V tuneli Okruhliak je navrhnutá vozovka s dvojvrstvom cementobetónovým krytom s povrchom s obnaženým kamenivom. Skladba vozovky je uvedená v tab. 4.

Počas výstavby tunela Okruhliak bude treba vyťaženú horninu premiestniť na potrebné miesto v rámci stavby, kde sa použije do konštrukčných vrstiev násypových telies. Zhotoviteľ uvažuje so stopercentným využitím vyťaženej horniny. Predpokladané množstvá nosných materiálov na výstavbu tunela Okruhliak, ako aj objem vyťaženej horniny, sú uvedené v tab. 5.

## ZÁVER

Tunel Okruhliak, zaradený medzi stredne dlhé tunely, po dokončení bude spĺňať štandardy tunelov rýchlostnej cesty. Zdalo by sa, že v podmienkach Slovenskej republiky často používaná cyklická Nová rakúska metóda razenia a výstavby tunela by mala byť pre skúseného zhotoviteľa pri daných parametroch prierezu a dĺžky tunela rutinou. Jeho realizácia v daných geologických podmienkach s výskytom napúčajúcich hornín, v harmonogramom stanovenom čase a za cenu, za ktorú bol projekt vysúťažený, však vôbec nebude ľahká.

Spolu s možnosťou a zámerom zhotoviteľa ponúknuť objednávateľovi zlepšovacie návrhy, ktoré by pomohli finančne zefektívniť náklady na výstavbu, to bude aj pre skúseného a zodpovedného zhotoviteľa určite výzvou.

*Ing. ANTON PETKO, PhD., anton.petko@tucon.sk,  
Ing. MICHAL MARIČÁK, michal.maricak@tucon.sk,  
TuCon, a. s.*

Recenzoval *Reviewed by:* Ing. Petr Hybský

Deleting the central collector would reduce the risk of damage to the carriageway around the drainage manholes, resulting in lower operating costs during the use of the works. It would also reduce the cost of cleaning the central collector and reduce the risk of clogging of the side drains due to the increase in the volume of ground water being discharged.

## OTHER CONSTRUCTION OBJECTS

Concurrently with the concreting progress on the secondary lining, the contractor will start to carry out the curbs and slotted gutters. These elements are part of the roadway drainage and the roadway itself. The construction of these structures will create space for the laying and subsequent concreting of the cable protection pipes in which the high- and low-voltage cables will be led. At the same time, the concrete of the protection pipes will create a duct for the fire water pipeline. The fire water pipeline will provide water for firefighting. It is designed in accordance with TP 099 Fire safety of road tunnels for a fire water requirement of 20L/s. The water main will be permanently wet and the required operating pressure of 0.6 to 1.0MPa will be provided by an automatic pressure station. The development of the fire water supply system also includes a fire water reservoir with a volume of 190m<sup>3</sup>, a water supply connection, hydrants and automatic air relieve valves.

In the Okruhliak tunnel, a roadway with a two-course cement concrete cover with a with exposed aggregate surface is designed. The composition of the pavement is presented in Table 4.

During the construction of the Okruhliak Tunnel, the excavated ground will have to be moved to the appropriate location within the construction site, where it will be used in the structural layers of the embankment bodies. The contractor envisages a 100% use of the excavated ground. The estimated quantities of the supporting materials for the construction of the Okruhliak tunnel, as well as the volume of excavated ground, are given in Table 5.

## CONCLUSION

The Okruhliak Tunnel, classified as a medium-length tunnel, will meet the standards of expressway tunnels when completed. It would seem that the cyclical New Austrian Method of tunnel excavation and construction, often used in the Slovak Republic, should be routine for an experienced contractor given the parameters of the tunnel cross-section and the length. However, it will not be easy to build it in the given geological conditions with the presence of swelling ground, within the time schedule and at the price for which the project was tendered.

Together with the contractor's ability and intention to offer the client improvement proposals that would help make the construction costs more financially efficient, this will certainly be a challenge even for an experienced and responsible contractor.

*Ing. ANTON PETKO, PhD., anton.petko@tucon.sk,  
Ing. MICHAL MARIČÁK, michal.maricak@tucon.sk,  
TuCon, a. s.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] R4 PREŠOV. *Rýchlostná cesta R4 Prešov – severný obchvat II etapa (km 4,3 – 14,5)*. Dokumentácia na realizáciu stavby. 2020. 83 s. Dostupné z: <https://www.uvo.gov.sk/vyhľadavanie/vyhľadavanie-dokumentov/download/3216964/1312650?cHash=f3ac4a-200750bd91f2d61592fd102f9f> [cit. 2023-01-24]