

OD KONCEPTU K REALITE: VÝSTAVBA PORTÁLOV TUNELA BIKOŠ FROM CONCEPT TO REALITY: CONSTRUCTION OF BIKOŠ TUNNEL PORTALS

MICHAL KŘEPELA, MATEJ GUŽÍK

ABSTRAKT

Tunel Bikoš, súčasť rýchlostnej cesty R4 Prešov – severný obchvat, slúži na prepojenie diaľnice D1 a rýchlostnej cesty R4, čím zabezpečuje dopravné odľahčenie mesta Prešov. Tunelové rúry sú navrhnuté ako jednosmerné. Projektovanie tunela prebehlo v niekoľkých projekčných fázach, ktoré zohľadňovali dostupné poznatky o geologickej stavbe masívu a požiadavky objednávateľa a neskôr zhotoviteľov. Dôležitým aspektom bolo aj posúdenie geologickej skladby, ktorá sa v oblastiach portálov líšila, čo sa prejavilo v odlišných technických riešeniach pre každý z portálov. Tieto rozdiely boli kľúčové pri navrhovaní stabilných portálových objektov, pričom projekt zohľadnil variabilitu geologických podmienok a implementoval adekvátne konštrukčné metódy.

ABSTRACT

The Bikoš tunnel, part of the R4 expressway Prešov – northern bypass, connects the D1 highway and the R4 expressway, thus relieving traffic in the city of Prešov. Twin tunnels are designed for one-way traffic. The design of the tunnel took place in several design phases, which took into account the available knowledge about the geological structure of the massif and the requirements of the client and the contractors. An important aspect was also the assessment of the geological composition, which differed in the areas of the portals, which was reflected in different technical solutions for each of the portals. These differences were key in the design of stable portal structures, with the project taking into account the variability of geological conditions and implementing adequate construction methods.

TUNEL BIKOŠ

Tunel Bikoš sa nachádza na rýchlostnej ceste R4 Prešov – severný obchvat, ktorá je súčasťou severo-južného dopravného prepojenia rýchlostnou cestou R4 v úseku štátna hranica Slovenská republika / Poľská republika – Vyšný Komárnik – Milhošť – štátna hranica Slovenská republika / Maďarská republika. Rýchlostná cesta zabezpečuje prepojenie medzi diaľnicou D1 a rýchlostnou cestou R4 Prešov – Svidník mimo existujúci systém cestnej siete a mimo mesto Prešov, s celkovým dopravným odľahčením mesta. Tunel Bikoš je tvorený dvomi tunelovými rúrami, ľavou (západnou) a pravou (východnou), ktoré sú trvalo prevádzkované jednosmerne. Tunel bol realizovaný cyklickým razením s rozpojovaním horniny mechanicky a vrtnotrhačmi prácami. Konštrukcia razenej časti tunelovej rúry tunela Bikoš pozostáva z dvojvrstvového ostenia s medzilahlou drenážnou a ochrannou vrstvou a plošnou hydroizoláciou. Súčasťou tunela sú tri priechodné priečne prepojenia medzi tunelovými rúrami, slúžiace ako chránené únikové cesty a dva jednostranné núdzové zálivy (v každej tunelovej rúre jeden). Ľavá tunelová rúra (LTR) je dĺžky 1144,5 m a pravá tunelová rúra (PTR) je dĺžky 1164,5 m.

Orientácia trasy tunela je v osi juh-sever, podľa ktorej sa rozlišujú označenia portálov tunela: južný portál a severný portál.

Portálové objekty, ako aj samotný tunel, boli realizované združením VÁHOSTAV-SK – TuCon – R4 severný obchvat Prešova. Stavba bola obstarávaná zmluvným štandardom FIDIC červená kniha.

PROJEKČNÉ PRÁCE

Tunel Bikoš bol projektovaný v niekoľkých projekčných fázach:

- technická štúdia (TS) vypracovaná spoločnosťou DOPRAVO-PROJEKT, a.s., 2002;
- dokumentácia stavebného zámeru (DSZ) vypracovaná spoločnosťou DOPRAVOPROJEKT, a.s., 2002;

BIKOŠ TUNNEL

The Bikoš tunnel is located on the R4 expressway Prešov – northern bypass, which is part of the north-south traffic connection on the R4 expressway in the section Slovak Republic / Polish Republic – Vyšný Komárnik – Milhošť – Slovak Republic / Hungarian state border. The expressway provides a connection between the D1 highway and the R4 Prešov – Svidník expressway outside the existing road network system and outside the city of Prešov, with overall traffic relief in the city. The Bikoš tunnel consists of two tunnel tubes, the left (west) and the right (east), which are permanently operated for one-way traffic. The tunnel was realized by conventional excavation with mechanical rock disintegration and blasting works. The structure of the tunnel excavated underground of the Bikoš tunnel consists of a double-shell lining with an intermediate drainage and protective layer and sheet waterproofing. The tunnel includes three cross-passages between the tunnel tubes, serving as escape routes and two emergency bays (one in each tunnel tube). The left tunnel tube (LTR) is 1144.5m long and the right tunnel tube (PTR) is 1164.5m long.

The orientation of the tunnel route is in the south-north axis, according to which the designations of the tunnel portals are distinguished: the southern portal and the northern portal.

The portals, as well as the tunnel, were realized by the association VÁHOSTAV-SK – TuCon – R4 northern bypass of Prešov. The construction was procured according to the contract standard FIDIC Red Book.

DESIGN

The Bikoš tunnel was designed in several design phases:

- technical study (TS) developed by the company DOPRAVO-PROJEKT, a.s., 2002;
- construction plan documentation (DSZ) prepared by the company DOPRAVOPROJEKT, a.s., 2002;

- dokumentácia pre územné rozhodnutie (DÚR) vypracovaná spoločnosťou HBH Projekt spol. s.r.o., 2008;
- dokumentácia pre stavebné povolenie (DSP) vypracovaná spoločnosťou Basler & Hofmann Slovakia s.r.o, 2014;
- dokumentácia na ponuku (DP) vypracovaná spoločnosťou Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 2017;
- dokumentácia na vykonanie prác (DVP) vypracovaná spoločnosťou Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., odovzdávaná priebežne počas realizačných prác 2019–2023;
- dokumentácia skutočného realizovania stavby (DSRS) vypracovaná spoločnosťou Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 2023.

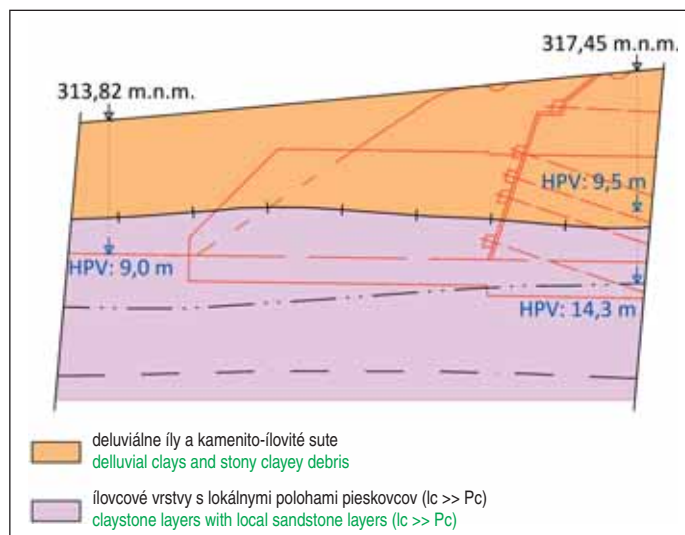
Technické riešenie portálových objektov prešlo medzi jednotlivými stupňami projektovej dokumentácie viacerými iteráciami na základe podrobnejších poznatkov o geologickej stavbe územia a tiež na základe požiadaviek objednávateľa a zhotoviteľov vo fáze realizácie.

GEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ PODMIENKY JUŽNÉHO PORTÁLU

Na základe výsledkov inžinierskogeologického a hydrologického prieskumu bol predpoklad, že rozhodujúce prostredie (cca 60 %) v oblasti hĺbenej časti tunela a portálových stien bude tvoriť komplex kvartérnych zemín v zastúpení ílov so strednou plasticitou (tr. F6/CI) až ílov s vysokou plasticitou (tr. F8/CH), tuhej až pevnej konzistencie. Íly boli svetlo žltasto hnedej farby, s lokálnym výskytom manganových konkrécií. Hrúbka povrchovej vrstvy bola veľmi premenlivá. Pohybovala sa v rozsahu od 6,5 m až po 10,6 m.

Počas výkopových prác v spodnej časti stavebnej jamy hĺbeneho tunela a portálových stien sa vyskytlo predkvartérne podložie, ktoré bolo tvorené komplexom paleogénnych hornín hutianskeho súvrstvia (centrálnokarpatská paleogénna panva). Pre tento komplex je charakteristická prítomnosť ílovcov, ktoré sú vo vrchnej časti úplne zvetrané, charakteru ílu so strednou plasticitou (tr. F6/CI), pevnej konzistencie, s obsahom úlomkov ílovca do 3–5 cm, extrémne nízkej pevnosti (tr. R6), len lokálne veľmi nízkej pevnosti (tr. R5).

Hrúbka úplne zvetraných hornín bola v rozsahu 3,2 až 4,3 m. Pod zónou úplne zvetraných hornín vystupovali silno až stredne zvetrané ílovce. V tejto polohe mal masív výraznú vrstevnatú textúru, s rozpadom na doskovité a čriepkovité úlomky do veľkosti 5–10 cm. Pevnosť týchto hornín bola veľmi nízka (tr. R5). Ílovice



Obr. 1 Geologická skladba južného portálu
Fig. 1 Geological structure of the southern portal

- documentation for zoning decision (DÚR) prepared by HBH Projekt spol. s.r.o., 2008;
- documentation for building permit (DSP) developed by Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 2014;
- tender documentation (DP) prepared by Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 2017;
- detailed documentation for the construction (DVP) prepared by the company Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., submitted continuously during the construction 2019–2023;
- As Built documentation (DSRS) prepared by Basler & Hofmann Slovakia s.r.o., 2023.

The technical solution of the portals went through several modifications between the stages of the project documentation, based on more detailed knowledge of the geological structure of the area and also based on the requirements of the client and contractors in the construction phase.

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONS OF THE SOUTHERN PORTAL

Based on the results of the engineering geological and hydrological investigation, it was assumed that the majority of the ground (approx. 60%) in the area of the excavated part of the tunnel and the portal walls will be Quaternary soils represented by clays with medium plasticity (tr. F6/CI) to clays with high plasticity (tr. F8/CH), solid to firm consistency. The clays were light yellowish-brown in color, with local occurrence of manganese concretions. The thickness of the surface layer was very variable. It ranged from 6.5m to 10.6m.

During the excavation work in the lower part of the construction pit of the excavated tunnel and the portal walls, a pre-Quaternary subsoil was found, which was formed by a complex of Paleogene rocks of the Hutian formation (Central Carpathian Paleogene basin). This complex is characterized by the presence of claystone, which are completely weathered in the upper part, of the nature of clay with medium plasticity (class F6/CI), firm consistency, containing fragments of claystone up to 3–5cm, extremely low strength (class R6), only locally very low strength (class R5).

The thickness of completely weathered rocks was in the range of 3.2 to 4.3m. Under the zone of completely weathered rocks, strongly to moderately weathered claystones emerged. In this position, the massif had a distinct layered texture, with disintegration into plate-like and sharp fragments up to 5–10cm in size. The strength of these rocks was very low (class R5). The claystones were interlaced with silt. In this zone, the fragments were brown, filled with iron oxides along the cracks. The extent of the weathering zone was assumed to a depth of 20.0–22.0m depending on the tectonic fault. The layers were mainly subhorizontal, with a direction to the SW and a slope of 10–30°, significantly transversely intersected by vertically oriented discontinuous cracks. At the time of the investigation, the groundwater level was encountered at a level of 14.3m below the ground which rose to a level of 9.5m below the ground. Due to the nature, course of the subsoil and the inclination of the layers, a more significant fluctuation of the groundwater level (HPV) was assumed [1].

The results of the preliminary and detailed engineering geological investigation corresponded to the actual conditions on the construction site (Fig. 1). During the realization of the cable anchors, there was strong groundwater seepage, which had to be mitigated.

boli prevrstvené siltovitými preplástkami. V tejto zóne boli úlomky hnedé, po puklinách zatečené oxidmi železa. Dosah zóny zvetrania bol predpokladaný do hĺbky 20,0–22,0 m v závislosti od tektonického porušenia. Uloženie vrstiev bolo prevažne subhorizontálne, so smerom skolu k JZ a veľkosti sklonu 10–30°, výrazne priečne porušené v systémoch nepriebežných na vrstvnatosť kolmo orientovaných puklín. V čase prieskumu bola hladina podzemnej vody narazená v úrovni 14,3 m pod terénom a vystúpila do úrovne 9,5 m pod terénom. Vzhľadom na charakter, priebeh podložia a úklon vrstiev bolo predpokladané výraznejšie kolísanie hladiny podzemnej vody (HPV) [1].

Výsledky orientačného a podrobného inžinierskogeologického prieskumu zodpovedali skutočne zachyteným podmienkam na stavbe (obr. 1). Počas realizácie lanových kotiev sa vyskytli silné vývery podzemnej vody, na ktoré bolo potrebné reagovať.

TECHNICKÉ RIEŠENIE JUŽNÉHO PORTÁLU

Južný portál bol budovaný v dvoch krokoch. Ako prvé boli realizované hrubé terénne úpravy s dočasným zaistením stavebnej jamy. Po prerazení tunela a betonáži hĺbeného tunela sa začalo s realizáciou definitívneho portálu.

Hrubé terénne úpravy (obr. 2) sú tvorené svahovanou stavebnou jamou s rôznymi sklonmi výkopu 1:1,75 až 3:1. Zářezy v sklone 3:1 boli navrhnuté s maximálnou výškou 3,0 m a predelené lavičkami šírky 0,9 m až 1,5 m. Súčasťou portálu je aj zárez pre technologickú centrálu, ktorá je založená v priestore portálu. Zabezpečenie stability svahov v sklone 3:1 bolo navrhnuté spôsobom „klincovanej zeminy“ s vrstvou striekaného betónu, v kombinácii s dočasnými lanovými kotvami a kotevnými prahmi osadenými na lavičkách.

TECHNICAL SOLUTION OF THE SOUTHERN PORTAL

The southern portal was built in two steps. First, hard landscaping was carried out with temporary support of the construction pit. After tunnel excavation breakthrough and casting the tunnel final lining of the cut and cover tunnel the construction of definitive portal structure began.

Hard landscaping (Fig. 2) consists of a sloped construction pit with different excavation slopes of 1:1.75 to 3:1. Cuts with a 3:1 slope were designed with a maximum height of 3.0 m and divided by benches 0.9 m to 1.5 m wide. Part of the portal is also an excavation for the technological room, which is built at the portal. The stability of the slopes in the 3:1 slope was ensured by soil nailing with a layer of sprayed concrete, in combination with temporary cable anchors and anchor waling installed on benches.

The support was as follows:

- sprayed concrete class C20/25, 20cm thick;
- welded mesh in two layers \varnothing 8/8–150/150, B500 B;
- ground nails from rebars \varnothing 28, B500 B in a grid of 1.5m \times 1.5m, in a borehole \varnothing 110mm, length 6–8m;
- drainage of sprayed concrete using PVC pipes \varnothing 100mm, length 300mm, grid 1.5 \times 2.0m;
- temporary cable anchors 3 \varnothing Lp15.2mm and 5 \varnothing Lp15.2mm, Y 1860, in borehole \varnothing 156mm, length 21/9m to 28/10m, Po 250–560kN.

In the tender documentation, monolithic reinforced concrete anchor waling cast in situ from class C 25/30 concrete [2] were considered. To save the construction time, were these DVP replaced by prefabricated ones. Due to the sensitivity of prefabricated anchor waling to the unevenness of the base, it was necessary to apply



Obr. 2 Realizácia hrubých terénnych úprav južného portálu
Fig. 2 Realization of hard landscaping of the southern portal

zdroj Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. source Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.



zdroj Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. source Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.

Obr. 3 Realizácia definitívneho južného portálu

Fig. 3 Realization of the definitive structure of the southern portal

Použité prvky zaistenia sú nasledovné:

- striekaný betón triedy C20/25 hrúbky 20 cm;
- zvarané siete v dvoch vrstvách $\text{Ø } 8/8\text{--}150/150$, B500 B;
- zemné klince z betonárskej výstuže $\text{Ø } 28$, B500 B v rastrí $1,5\text{ m} \times 1,5\text{ m}$, do vrtu $\text{Ø } 110\text{ mm}$, dĺžky 6–8 m;
- odvodnenie striekaného betónu pomocou rúrok PVC $\text{Ø } 100\text{ mm}$ dĺžky 300 mm, raster $1,5 \times 2,0\text{ m}$;
- dočasné lanové kotvy 3 $\text{Ø } \text{Lp}15,2\text{ mm}$ a 5 $\text{Ø } \text{Lp}15,2\text{ mm}$, Y 1860, do vrtu $\text{Ø } 156\text{ mm}$, dĺžky 21/9 m až 28/10 m, Po 250–560 kN.

V dokumentácii na ponuku bolo uvažované s monolitickými železobetónovými kotevnými prahmi betónovanými na mieste z betónu triedy C 25/30 [2]. Pre úsporu času potrebného na realizáciu boli tieto v DVP nahradené za prefabrikované. Vzhľadom na citlivosť prefabrikovaných kotevných prahov na nerovnosti podkladu bolo potrebné tesne pred osadením prefabrikátov do ich polohy naniesť na podklad kontaktnú vrstvu striekaného betónu a prípadné medzery medzi portálovou stenou a prefabrikátom dodatočne ošetriť liatym betónom tak, aby bola dosiahnutá rovnomerná a plná kontaktná plocha [3].

Vzhľadom na vysokú heterogenitu a zavodenosť geologického prostredia sa počas predpínania lanových kotiev K30, K31, K34 a K36 na II. kotevnej úrovni nepodarilo dosiahnuť projektom stanovené skúšobné sily. Kotvy museli byť nahradené novými, ktoré boli realizované do kotevných prahov s upravenou geometriou zo striekaného betónu v mieste pod nevyhovujúcimi kotvami [3].

Definitívna úprava južného portálu tunela Bikoš (obr. 3) pozostáva zo záspy hlbených častí tunela, ktorý bol navrhnutý v sklone 1:1,5 a v mieste medzi tunelovými rúrami v sklone 1:1,25. Zásp bol realizovaný postupným zasypávaním po vrstvách maximálnej hrúbky 0,3 m až po úroveň pôvodného terénu. Jednotlivé vrstvy boli zhutňované v smere osi rýchlostnej cesty, nikdy nie kolmo na tunel. V blízkosti tunelových rúr (minimálne 1,5 m od ich rubu)

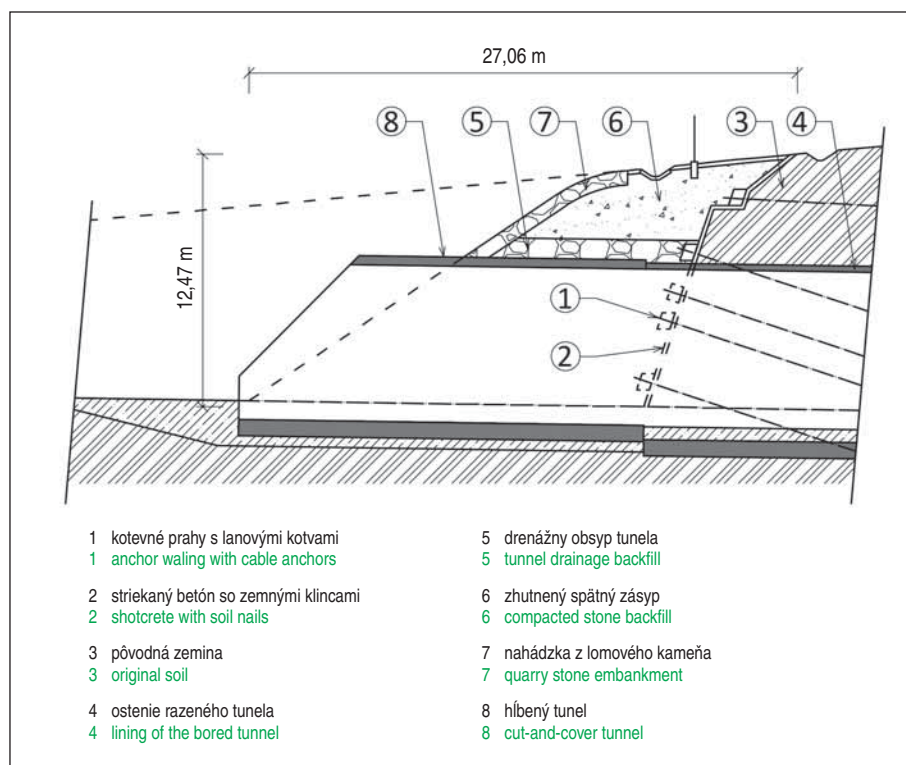
a contact layer of sprayed concrete to the base just before placing the prefabs in their position, and any gaps between the portal wall and the prefab should be additionally treated with cast concrete in order to achieve a uniform and full contact surface [3].

Due to the high heterogeneity and ground water saturation of the geological environment, the cable anchors K30, K31, K34 and K36 of II. level failed to reach the design forces specified by the project. The anchors had to be replaced with new ones, which were installed into shotcrete anchor waling of modified geometry in location below the failed anchors [3].

The finishing works of the southern portal of the Bikoš tunnel (Fig. 3) consists of backfilling the cut and cover parts of the tunnel, which was designed at a slope of 1:1.5 and in the place between the tunnel tubes at a slope of 1:1.25. Backfilling was carried out by gradual backfilling in layers with a maximum thickness of 0.3m up to the level of the original terrain. The individual layers were compacted in the direction of the expressway axis, never perpendicular to the tunnel. In the vicinity of the tunnel walls (at least 1.5m from the walls back side), compactors without dynamic impact, or with minimal dynamic impacts, were used. During backfilling on the right and left sides of the LTR or PTR a maximum height difference of 0.3m between the levels was allowed. Local materials suitable and conditionally suitable for the embankment according to STN 73 6133 were used as backfill material. Simultaneously with the construction of the tunnel, the drainage backfill of the tunnel was also built, which ensures the consistent drainage of soaked rainwater from the body of the backfill. The drainage backfill was separated from the rest of the backfill by geosynthetics, which prevents fines from washing out and thus clogging the drainage backfill. A clay layer was placed in the lower part of the backfill, which is sloped towards the tunnel drainage.

On the backfill of the tunnel and on the portal slopes, which were not secured with sprayed concrete and other supports, a quarry

boli použité zhutňovacie prostriedky bez dynamických účinkov, prípadne s minimálnymi dynamickými účinkami. Počas realizácie záস্যu na pravej a ľavej strane LTR resp. PTR bol medzi úrovňami prípustný maximálny výškový rozdiel 0,3 m. Ako záস্যový materiál boli použité miestne materiály vhodné a podmienenčne vhodné do násypu podľa STN 73 6133. Súčasne s budovaním tunelových rúr bol budovaný aj drenážny obsyp tunela, ktorý zabezpečuje dôsledné odvedenie presiaknutých zrážkových vôd z telesa záস্যu. Drenážny obsyp bol odseparovaný od ostatnej časti záস্যu separačnou geosyntetikou, ktorá zabraňuje vyplavovaniu jemných častí a tým zanášanju drenážneho obsypu. V spodnej časti záস্যu bolo zhotovené ílové tesnenie, ktoré je spádované smerom k drenáži tunela.



Obr. 4 Pozdĺžny profil južného portálu

Fig. 4 Longitudinal section of the southern portal

Na záস্যe tunela a na portálových svahoch, ktoré neboli zaisťované striekaným betónom a ostatnými zaisťovacími prvkami, bola realizovaná nahádzka z lomového kameňa min. hrúbky 0,7 m. Nahádzka z lomového kameňa bola v mieste portálu realizovaná postupne so zasypávaním portálu tak, že výškový rozdiel medzi pracovnou úrovňou hutnenia záস্যu a hornou úrovňou kamennej nahádzky bol maximálne 1,5 m. Kamenná nahádzka bola urovnaná tak, aby tvorila plynulú pohľadovú štruktúru. Bola navrhnutá s nasledujúcimi parametrami:

- trieda zrnitosti CP90/250 (STN EN 13383-2);
- odolnosť proti lámaniu CS60 (STN EN 1926);
- odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu FTA (STN EN 13383-2);
- objemová hmotnosť $\geq 2,3 \text{ Mg/m}^3$ (STN EN 13383-2);
- nasiakavosť $\leq 0,5 \%$ hmot. (STN EN 13383-2).

V mieste prieniku tunelových rúr so záস্যom bolo navrhnuté obloženie lomovým kameňom do betónu C20/25.

Vrchná časť záস্যu portálu, kde nebola realizovaná kamenná nahádzka, bola zahumusovaná a zatravnená.

stone cladding of min. 0.7m thick was placed. The quarried stone pile at the site of the portal was placed gradually with backfilling of the portal so that the height difference between the working level of backfill and the upper level of the stones was a maximum of 1.5m. The stones were arranged in such a way as to form a smooth face structure. It was designed with the following parameters:

- grain size class CP90/250 (STN EN 13383-2);
- breaking resistance CS60 (STN EN 1926);
- resistance to freezing and thawing FTA (STN EN 13383-2);
- bulk density $\geq 2.3 \text{ Mg/m}^3$ (STN EN 13383-2);
- absorbency $\leq 0.5\%$ wt. (STN EN 13383-2).

At the intersection of the tunnel with the backfill, a quarry stone lining in C20/25 concrete was designed.

The upper part of the backfill of the portal, where the stones were not placed, was covered with humus and grassed.

Part of the final design of the portal was also a gutter made of concrete prefabs at top of portal (Fig. 4).

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONS OF THE NORTH PORTAL

The northern portal of the Bikoš tunnel is situated on a steep slope, the morphology of which is influenced by the incision of the Torysa river valley and the shaping of the slope.

The right-hand slope was significantly disturbed by slope movements. The most prominent movements were caused by the system of NW–SE extensional faults, which were the continuation of the faults that bounded the NW peak of the Bikoš massif. Combined slope deformations also damaged the eastern slope of the valley behind the erosion line, as well as the western slope of the valley from the portal. It was assumed that the massif would be loose in the northern portal, but also in the first 50 meters of the tunnel.

The surface layer – the quaternary cover – was made up of deluvial slope sediments, characterized by clays with admixture of

fragments forming a clayey debris containing variously oriented sharp-edged fragments, mainly of sandstone. The thickness was approximately 0.7–1.6m.

Beneath the deluvium layer there was a Paleogene formation of sandstones and claystones, which in the surface layer was strongly weathered to weathered, locally decomposed.

The thin-plated to thick-plated bedding joints of the sandstone were filled with clay of a hard to soft consistency. The sandstone layers were broken into fragments up to blocks up to 200–400mm, rarely over 200mm, in a system of transverse cracks. Most of the cracks were open without clay filling. The most prominent was the loosened surface zone of sandstones to a depth of 3–4m.

Laminated to thin-plated layers of claystones were locally weathered to varying degrees, with strong weathering even to a depth of 7.0–8.0m, and locally altered.

The ratio of claystone to sandstone was variable.

Diluvial sediments were very poorly permeable, depending on the amount of fine-grained fraction, with permeability class VIII.

Geotechnical evaluation and division of the massif into geotechnical types:

Súčasťou definitívnej úpravy portálu bol aj nadzárezový žlab z betónových prefabrikátov (obr. 4).

GEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ PODMIENKY SEVERNÉHO PORTÁLU

Severný portál tunela Bikoš je situovaný v strmom svahu, ktorého morfológia je ovplyvnená zarezávaním údolia rieky Torysa a formovaním svahu.

Pravostranný svah bol výrazne porušený svahovými deformáciami. Najvýraznejší podiel mal systém extenzných zlomov SZ-JV, ktoré boli pokračovaním zlomov, ktoré podmienili a ohraničili SZ výbežok masívu Bikoš. Kombinovanými svahovými deformáciami bol porušený aj východnejší svah údolia za eróznou ryhou, ale aj západný svah údolia od portálu. Predpokladalo sa rozvolnenie masívu v severnom portáli, ale aj v prvých 50-tich metroch tunela.

Povrchovú vrstvu – kvartérny pokryv tvorili deluviálne svahové sedimenty, charakteru ílov s prímiesou úlomkov až suť ílovitá s obsahom rôzne orientovaných ostrohranných úlomkov, najmä pieskovca. Mocnosť bola približne 0,7–1,6 m.

Pod vrstvou delúvia sa nachádzalo paleogénne súvrstvie pieskovcov a ílovcov, ktoré bolo v povrchovej vrstve silne zvetrané až zvetrané, ojedinele rozložené.

Tenkodoskovité až hrubolavicovité vrstevné škáry pieskovca boli vyplnené ílom tuhej až mäkkej konzistencie. Pieskovcové vrstvy sa rozvoľňovali na úlomky až bloky do 200–400 mm, ojedinele nad 2 000 mm, v systéme priečných puklín. Väčšina puklín bola otvorená bez výplne ílu. Najvýraznejšia bola rozvoľnená povrchová zóna pieskovcov do hĺbky 3–4 m.

Laminované až tenkodoskovité vrstvy ílovcov boli selektívne zvetrané v rôznom stupni, so silným zvetraním aj do hĺbky 7,0–8,0 m, lokálne až rozložené.

Pomer ílovca a pieskovca bol premenný.

Deluviálne sedimenty boli v závislosti od množstva jemnozrnej frakcie veľmi slabo priepustné, s triedou priepustnosti VIII.

Geotechnické hodnotenie a rozdelenie masívu do geotechnických typov:

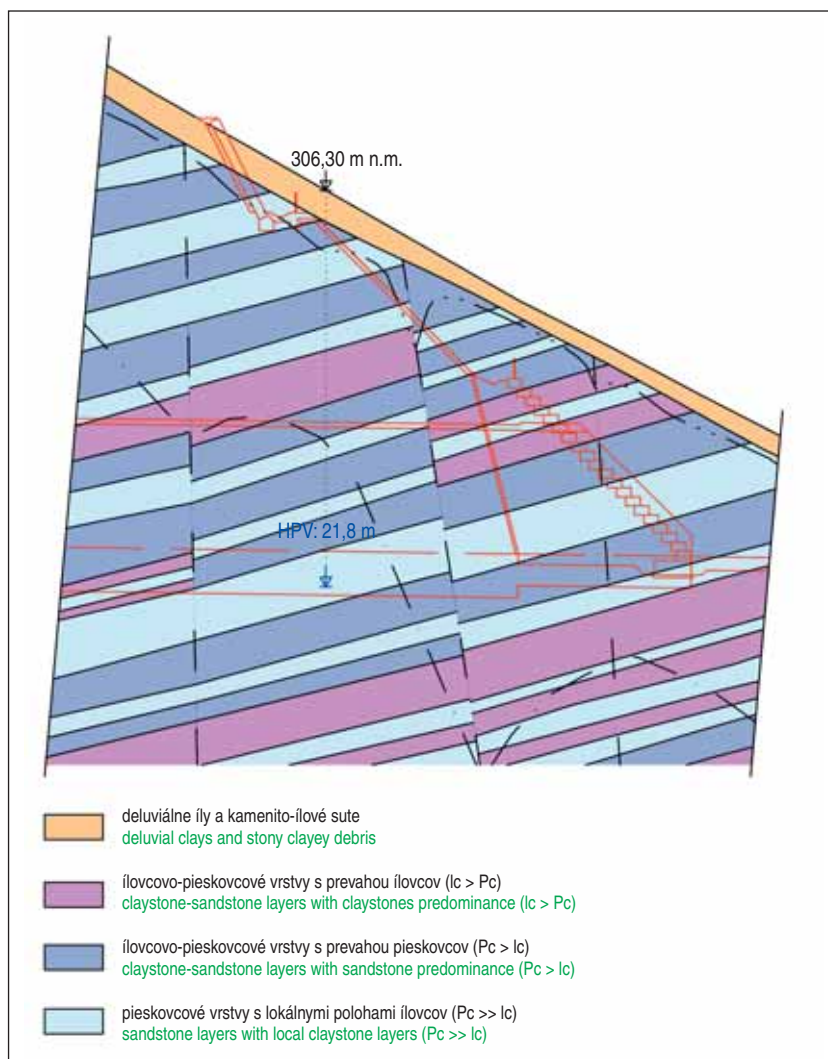
- kvartér: deluviálne íly a kamenito-ílovité sute, tr. F2/CG;
- paleogén: ílovcovo-pieskovcové vrstvy s prevahou ílovcov, tr. R3, R2–R3; ílovcovo-pieskovcové vrstvy s prevahou pieskovcov, tr. R3–R4, R4–R5; pieskovcové vrstvy, s lokálnymi polohami ílovcov, tr. R2, R2–R3.

Hydrogeologické vlastnosti flyšovej formácie paleogénu boli charakterizované prevažne puklinovou priepustnosťou s celkom zanedbateľným podielom medzizrnovej priepustnosti. Postupné uzatváranie puklín do hĺbky malo za následok vytvorenie podmienok obehu podzemnej vody bez významnejších hydrogeologických kolektorov vrstvomého typu. Obeh podzemnej vody sa sústreďoval predovšetkým do príprachovej zóny a v menšej miere do subvertikálnych strmých puklinových zón a pásiem intenzívneho rozpukania s genetickým a priestorovým vzťahom k priebehu tektonických porúch. Tie predstavujú hydraulické cesty pre pohyb podzemných vôd do väčšej

- Quaternary: diluvial clays and gravelly-clay debris, tr. F2/CG;
- Paleogene: claystone-sandstone layers with a predominance of claystones, tr. R3, R2–R3; claystone-sandstone layers with a predominance of sandstones, tr. R3–R4, R4–R5; sandstone layers, with local layers of claystones, tr. R2, R2–R3.

The hydrogeological properties of the Paleogene flysch formation were mainly characterized by fissure permeability with a quite negligible proportion of intergranular permeability. The gradual closing of fissures in depth resulted in the creation of groundwater circulation conditions without more significant hydrogeological layer-type collectors. Groundwater circulation was concentrated primarily in the subsurface zone and, to a lesser extent, in subvertical steep fracture zones and zones of intense cracking with a genetic and spatial relationship to the course of tectonic faults. These represent hydraulic paths for the movement of groundwater to a greater depth. It was assumed that the aquifer was bound to a system of open fissures of mainly tectonic failures [1].

The results of the preliminary and detailed engineering geological investigation corresponded to the conditions encountered at the construction site. Groundwater did not occur during excavation (Fig. 5).



Obr. 5 Geologická skladba severného portálu
Fig. 5 Geological structure of the northern portal

hĺbky. Predpokladalo sa zvodnenie viazané na systém otvorených puklín prevažne tektonického porušenia [1].

Výsledky orientačného a podrobného inžinierskeogeologického prieskumu zodpovedali skutočne zachyteným podmienkam na stavbe. Podzemná voda sa počas zemných prác nevyskytla (obr. 5).

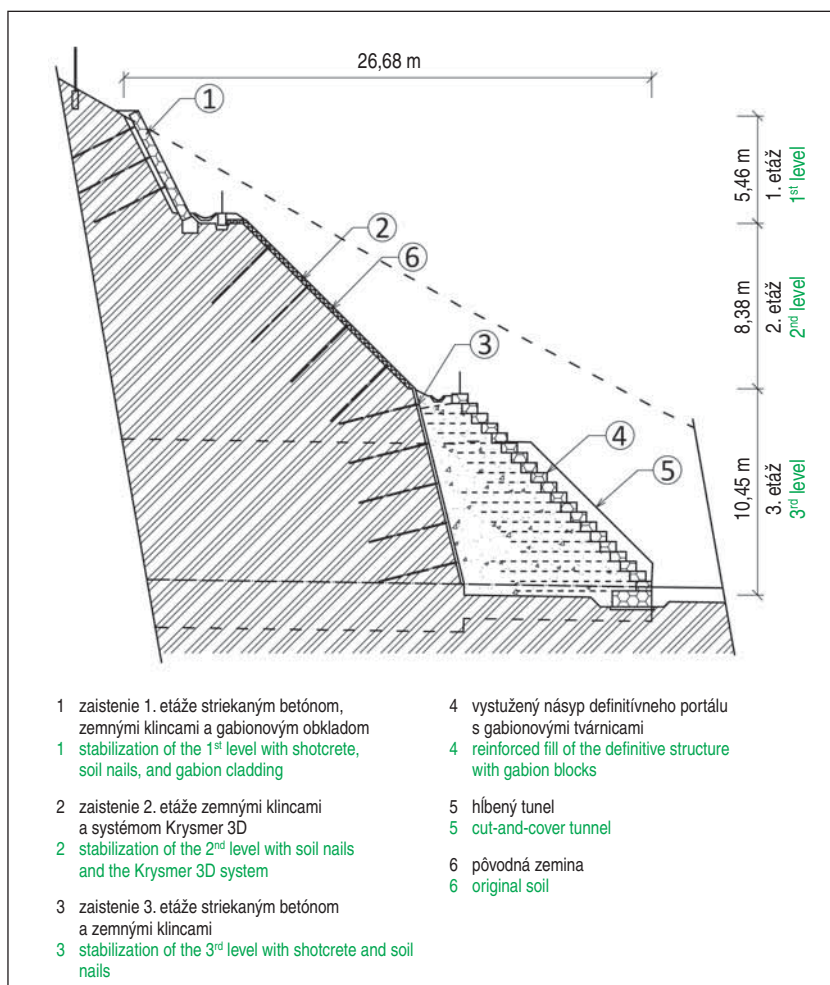
TECHNICKÉ RIEŠENIE SEVERNÉHO PORTÁLU

Stavebná jama v časti hĺbeného tunela bola rozdelená na tri etáže (obr. 6). Bočné svahy pokračujú v smere staničenia v dvoch etážach a plynule sa napájajú na svahy príslušných objektov. V rámci každej etáže bolo hĺbenie realizované etapovite. Po betonáži hĺbeného tunela bol realizovaný definitívny portál.

Svah prvej etáže čelnej portálovej steny bol navrhnutý v sklone 2:1. Keďže je v oblasti severného portálu strmý terén, bolo potrebné v prvej fáze výkopových prác (hĺbenie od prieniku s terénom) zabezpečiť dostatočnú šírku pracovnej plošiny v päte výkopu. Svah bol hĺbený a následne zaistovaný postupne po etapách so zvýšenou opatrnosťou. Maximálna hĺbka nezaisteného svahu portálovej steny bola 2,0 m, prvá úroveň hĺbenia max. 3,0 m. Zaistenie 1. etáže bolo navrhnuté formou „kľincovanej zeminy“.

Použité prvky zaistenia sú nasledujúce:

- striekaný betón triedy C25/30 hrúbky 15 cm;
- zvarané siete v jednej vrstve Ø 8/8–150/150, B500 B;
- zemné kľince z betonárskej výstuže Ø 28, B500 B v rastrí 1,5 m × 1,5 m, do vrtu Ø 130 mm, dĺžky 5–4 m;
- odvodnenie striekaného betónu pomocou rúrok PVC Ø 100 mm dĺžky 0,5 m, 1 ks/4 m².



Obr. 6 Pozdĺžny profil severného portálu

Fig. 6 Longitudinal section of the northern portal

TECHNICAL SOLUTION OF THE NORTHERN PORTAL

The construction pit of the cut and cover tunnel was divided into three levels (Fig. 6). The sloped sides continue in the direction of the stationing in two levels and smoothly connect to the adjacent slopes. Within each level, excavation was carried out in stages. After concreting the excavated tunnel, the definitive portal structure was built.

The slope of the first level of the front portal wall was designed with a slope of 2:1. Since there is a steep terrain in the area of the northern portal, it was necessary to ensure a sufficient width of the working base at the foot of the excavation in the first phase of the excavation works (excavation starting at the intersection with the terrain). The slope was excavated and then secured gradually in stages with caution. The maximum height of the unsupported slope of the portal wall was 2.0m, the first level of excavation max. 3.0m. Support of the 1st level was provided by soil nails.

The support was as follows:

- sprayed concrete class C25/30, 15cm thick;
- welded mesh in one layer Ø 8/8–150/150, B500 B;
- soil nails from rebars Ø 28, B500 B in a grid of 1.5m × 1.5m, in a borehole Ø 130mm, lengths 5–4m;
- drainage of sprayed concrete using PVC pipes Ø 100mm, length 0.5m, 1 pc/4m².

The entire height of the 1st level was covered with gabion baskets. The cladding was designed as a architectural face, without a static function. In the tender documentation, gabions from a double-twist wire mesh, cascaded on a gravel bed, were considered [2].

Before construction, the proposal was re-evaluated. Gabion baskets were designed from welded mesh. They were laid inclined with the cut slope and placed on monolithic concrete strips. The modified placing of the baskets enabled the vertical dilation of expansion units, thus preventing adverse deformations of the structure, which were caused by the tunnel underground excavations [3].

The parameters of the cladding structure are as follows:

- baskets made of welded mesh measuring 0.5 × 0.5m;
- wire spacing min. 100 × 50mm (front panel), 100 × 100mm (other panels);
- wire diameter 4mm;
- anti-corrosion protection 90% Zn + 10% Al, 350g/m² (STN EN 10244-2);
- unit weight of filling: ≥ 23kN/m³ (STN EN 13383-2);
- filler grain class CP90/180 (STN EN 13383-2);
- breaking resistance CS80 (STN EN 1926);
- absorbency of the filler ≤ 0.5% by weight (STN EN 13383-2).

To level the surface of the sprayed concrete, a gravel layer 100mm thick, fractions 16–32mm, was placed on the back of the gabion baskets, provided with a filter-separation geotextile and a filter-drainage geocomposite with a polypropylene 3D core with a filter geotextile on the top and bottom.

The second level of the portal wall and side slopes was excavated at a 1:1 slope, in stages, with a maximum excavation depth of 2.0m before support installation. An anti-erosion geomat designed from

Na celú výšku 1. etáže sa realizoval obklad z gabionových košov. Obklad bol navrhnutý ako pohľadová konštrukcia, bez statickej funkcie. V dokumentácii na ponuku bolo uvažované s gabionmi z dvojzákrutovej siete, kaskádovo ukladanými na štrkové lôžko [2].

Pred realizáciou bol návrh prehodnotený. Gabionové koše boli navrhnuté zo zváraných sietí. Ukladanie bolo v sklone zárezu a založené na monolitické betónové pásy. Upravený spôsob zakladania a ukladania košov umožnil vertikálny pohyb dilatčných celkov, čím sa predchádzalo nepriaznivým deformáciám konštrukcie, ktoré boli vyvolané razením tunelových rúr [3].

Parametre obkladovej konštrukcie sú nasledujúce:

- koše zo zváraných sietí rozmerov 0,5 × 0,5 m;
- oko min. 100 × 50 mm (čelný panel), 100 × 100 mm (ostatné panely);
- priemer drôtu 4 mm;
- protikorózna ochrana 90 % Zn + 10 % Al, 350 g/m² (STN EN 10244-2);
- objemová hmotnosť výplne: ≥ 23 kN/m³ (STN EN 13383-2);
- trieda zrnitosti výplne CP90/180 (STN EN 13383-2);
- odolnosť proti lámaniu CS80 (STN EN 1926);
- nasiakavosť výplne ≤ 0,5 % hmotnosti (STN EN 13383-2).

Na vyrovnanie povrchu striekaného betónu bola na rube gabionových košov umiestnená štrková vrstva hrúbky 100 mm, frakcie 16–32 mm, opatrená filtračno-separačnou geotextíliou a filtračno-drenážnym geokompozitom s polypropylénovým 3D jadrom s filtračnou geotextíliou na vrchnej aj spodnej strane.

Druhá etáž portálovej steny a bočných svahov bola hĺbená v sklone 1:1, po etapách, s maximálnou hĺbkou výkopu 2,0 m pred zaistením. Na svah bola prikotvená protierózna georochož navrhnutá z polypropylénovej a vysokohustotnej polyetylénovej trojrozmernej štruktúry a výstužná ocelová dvojzákrutová šesťuholníková sieť s poplastovaním. Georochož so sieťou bola ukotvená na celej ploche svahu k skalnej stene zemnými kĺncami priemeru 28 mm, v rastru 2,0 m × 2,0 m, do vrtu priemeru minimálne 130 mm. Kĺnce boli opatrené protikoróznou úpravou na dĺžke 1 m od hlavy kĺnca.

Na georochož so sieťou mala byť uložená vrstva humusu a rozchodníkové pásy. Na základe rozhodnutia objednávateľa boli rozchodníkové pásy nahradené bezúdržbovým systémom Krismer 3D, ktorý zároveň lepšie dotváral vizuálnu stránku portálu [2], [3].

Systém pozostával z 3D panelov hrúbky 80 mm, ktoré boli vyplnené štrkom fr. 32-63 mm. Následne bola vrchná strana uzavretá ocelovou sieťou, ktorá bola do konštrukcie uchytená pomocou C-krúžkov.



zdroj Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. source Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.

Obr. 7 Realizácia hrubých terénnych úprav severného portálu
Fig. 7 Realization of hard landscaping of the northern portal



zdroj Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. source Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.

Obr. 8 Realizácia definitívneho severného portálu
Fig. 8 Realization of the definitive structure of the northern portal

a polypropylénu a vysokohustotného polyetylénu trojrozmernú štruktúru a ocelovú dvojzákrutovú sieť s poplastovaním. Georochož so sieťou bola ukotvená na celej ploche svahu k skalnej stene zemnými kĺncami priemeru 28 mm, v rastru 2,0 m × 2,0 m, do vrtu priemeru minimálne 130 mm. Kĺnce boli opatrené protikoróznou úpravou na dĺžke 1 m od hlavy kĺnca.

A layer of humus and limestone strips should have been placed on the geomat with a net. Based on the client's decision, the gravel strips were replaced with a maintenance-free Krismer 3D system, which at the same time improved the architectural look of the portal [2], [3].

The system consisted of 3D panels with a thickness of 80 mm, which were filled with gravel fr. 32-63 mm. Subsequently, the upper side was closed with a steel net, which was attached to the structure using C-rings.

Before installing the system, it was necessary to remove the geomat and the reinforcing mesh from the area of the second level.

Pred inštaláciou systému bolo potrebné odstrániť z plochy druhej etáže georohož a výstužnú sieť.

Raster nainštalovaných zemných klincov bol nedostatočný pre kotvenie systému a preto musel byť doplnený o systémové, galvanizované, zarážané T-profilu (T-kotvy).

Tretia etáž bola navrhnutá v časti hĺbeného tunela (čelná portálová stena a bočné steny) ako dočasná koštruktúra a po zrealizovaní hĺbeného tunela bola táto etáž zasypaná. Výkop bol hĺbený v sklone 4:1, etapovito, po úrovniach maximálnej hĺbky 2,0 m a následne stabilizovaný striekaným betónom triedy C 20/25, hrúbky 0,15 m, vystuženým zváranými sieťami Ø 8/8–150/150, B500 B v dvoch vrstvách, a dočasnými zemnými klincami, priemeru 28 mm, vo vrte priemeru minimálne 130 mm, dĺžky 4,0 m, v rastru maximálne 2,0 × 2,0 m.

V oblasti razeného tunela boli klince nahradené samozávrtnými IBO kotvami R32 L dl. 8,0 m (250 kN, raster 2,0 × 2,0 m). Cez striekaný betón boli ponechané rúrky PVC priemeru 100 mm, 1 ks / 4 m², pre odvedenie podzemnej vody z rubu koštruktúrie (obr. 7).

Definitívny portál tvorí koštruktúra z gabionových košov s výstužnými sieťami z dvojzákrutovej šesťhrannej siete dĺžky 3,0 m. Gabionové koše boli ukladané v 20-tich úrovniach. V spodných 11-tich úrovniach boli navrhnuté geomreže s dlhodobou ťahovou pevnosťou 51,28 kN/m, spojené s lícovým prefabrikátom pomocou presahu. Lícové drôtené koše výstužného systému boli vyrobené z poplastovanej šesťuholníkovej dvojzákrutovej oceľovej siete s typom oka 8 × 10 cm. Priemer drôtu siete bol 2,7 (vnútorný) / 3,7 (vonkajší) mm. Rozmery košov boli navrhnuté 0,5 × 0,8 m. Parametre výplne košov sú rovnaké ako pri prvej etáži.

Ako výplňový materiál spätného zásypu bol použitý vhodný materiál charakteru minimálne tr. G4 (obr. 8).

ZÁVER

Portálové objekty boli kritické pre začiatok a ukončenie razenia tunela Bikoš, od ktorého sa odvíjal celkový harmonogram výstavby severného obchvatu Prešova. Návrhom vhodných technických riešení bolo možné optimalizovať dobu výstavby, čoho výsledkom bol splnený harmonogram a odovzdanie diela do užívania včas. Význam stavby Rýchlostná cesta R4 Prešov – severný obchvat a jej prínos k rozvoju dopravnej infraštruktúry v regióne, potvrdzuje aj ocenenie Stavba roka 2023 v kategórii Inžinierske stavby. Tento úspech je dôkazom kvalitného plánovania, realizácie a koordinácie, ktoré umožnili splnenie náročných požiadaviek a parametrov tejto významnej dopravnej stavby.

Ing. MICHAL KŘEPELA,
michal.krepela@baslerhofmann.sk,
Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.,
Ing. MATEJ GUŽÍK, PhD., matej.guzik@geology.sk,
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra

Recenzovala *Reviewed by:* Ing. Soňa Masarovičová, PhD.

The grid of installed soil nails was insufficient for anchoring the system and therefore had to be supplemented with galvanized, driven T-profiles (T-anchors).

The third level was designed in part of the cut and cover tunnel (front portal wall and side walls) as a temporary structure, and after the cut and cover tunnel was constructed, this level was backfilled. The excavation was cut at a slope of 4:1, in stages, with a maximum level height of 2.0m and then stabilized with shotcrete of class C 20/25, 0.15m thick, reinforced with welded mesh Ø 8/8–150/150, B500 B in two layers, and temporary soil nails, 28mm in diameter, in a borehole with a diameter of at least 130mm, length 4.0 m, in a maximum grid of 2.0 × 2.0m.

In the area of the underground excavated tunnel, the nails were replaced with self-drilling IBO anchors R32 L length 8.0m (250kN, grid 2.0 × 2.0m). PVC pipes with a diameter of 100mm, 1pc/4m², were left through the sprayed concrete for the drainage of groundwater from the back wall (Fig. 7).

The final portal structure consists of gabion baskets with reinforcing nets made of a double-twisted wire hexagonal net 3.0m long. Gabion baskets were placed in 20 levels. In the lower 11 levels, geogrids with a long-term tensile strength of 51.28kN/m were designed, connected to the face prefab using an overlap. The face wire baskets were made of plastic-coated hexagonal double-twisted wire steel mesh with a mesh type of 8 × 10cm. The diameter of the mesh wire was 2.7 (inner) / 3.7 (outer) mm. The dimensions of the baskets were designed to be 0.5 × 0.8m. The basket filler parameters are the same as for the first level.

A suitable material of minimum class G4 was used as backfill material (Fig. 8).

CONCLUSION

The portal objects were critical for the start and end of the excavation of the Bikoš tunnel, on which the overall schedule for the construction of the northern bypass of Prešov was based. The design of appropriate technical solutions made it possible to optimize the construction time, which resulted in the schedule being met and the work being handed over for public use on time. The significance of the construction of the R4 Prešov Expressway – Northern Bypass and its contribution to the development of transport infrastructure in the region is also confirmed by the Construction of the Year 2023 award in the Engineering Construction category. This success is proof of high-quality planning, construction and coordination, which made it possible to meet the demanding requirements and parameters of this important transport structure.

Ing. MICHAL KŘEPELA,
michal.krepela@baslerhofmann.sk,
Basler & Hofmann Slovakia s.r.o.,
Ing. MATEJ GUŽÍK, PhD., matej.guzik@geology.sk,
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra

LITERATURA / REFERENCES

- [1] MARTINČEKOVÁ, Tamara. *Závěrečná správa Rýchlostná cesta R4 Prešov – severný obchvat, tunel Bikoš*, Podrobný inžiniersko-geologický a hydrogeologický prieskum. GEOFOS, s.r.o., 2014.
- [2] Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. *Projektová dokumentácia Rýchlostná cesta R4 Prešov – severný obchvat, tunel Bikoš*. Projekt v stupni DP. 2017.
- [3] Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. *Projektová dokumentácia Rýchlostná cesta R4 Prešov – severný obchvat, tunel Bikoš*. Projekt v stupni DVP. 2022.