

REKONŠTRUKCIA BRATISLAVSKÉHO TUNELA Č. 2 RECONSTRUCTION OF THE BRATISLAVA TUNNEL NO. 2

LUKÁŠ ŽATKULIAK

ABSTRAKT

Cieľom článku je priblížiť rozsah rekonštrukčných prác v Bratislavskom tuneli č. 2 a zvolenú technológiu, ktorá sa pri nich použila. Trať Devínska Nová Ves – Štúrovo sa nachádza na IV. koridore a vytvára spojenie medzi Viedňou a Prahou cez Bratislavu do Budapešti, pričom sa Bratislavskými tunelmi č. 1 a 2 prekonáva masív pohoria Malé Karpaty. Bratislavský tunel č. 2 sa začal raziť 15. decembra roku 1900 a dokončený bol v roku 1902. Z južnej strany susedí s historickým Bratislavským tunelom č. 1, ktorý je najstarším železničným tunelom nielen na Slovensku, ale i v celom bývalom Uhorsku. Oba tunely a ich portály sú súčasťou celku evidovaného ako Národná kultúrna pamiatka SR. Spoločnosť TuCon, a. s. zahájila rekonštrukčné práce v tuneli č. 2 v auguste roku 2022. Keďže ide o stavbu na existujúcej železničnej infraštruktúre, práce bolo nutné vykonávať výhradne vo výlukách. Okrem samotnej sanácie kamenného ostenia tunela sa vykonala aj montáž nového trakčného vedenia, svetelných návěstidiel, prevádzkového a núdzového osvetlenia. V rámci rekonštrukcie sa pristúpilo tiež k výmene kolajnicových pásov a káblového elektrického vedenia 6 kV, k obnove portálových čiel P1 a P2 a k dobudovaniu povrchových konštrukcií v nadportálovej oblasti tunelov. Práce boli v júni 2023 úspešne ukončené.

ABSTRACT

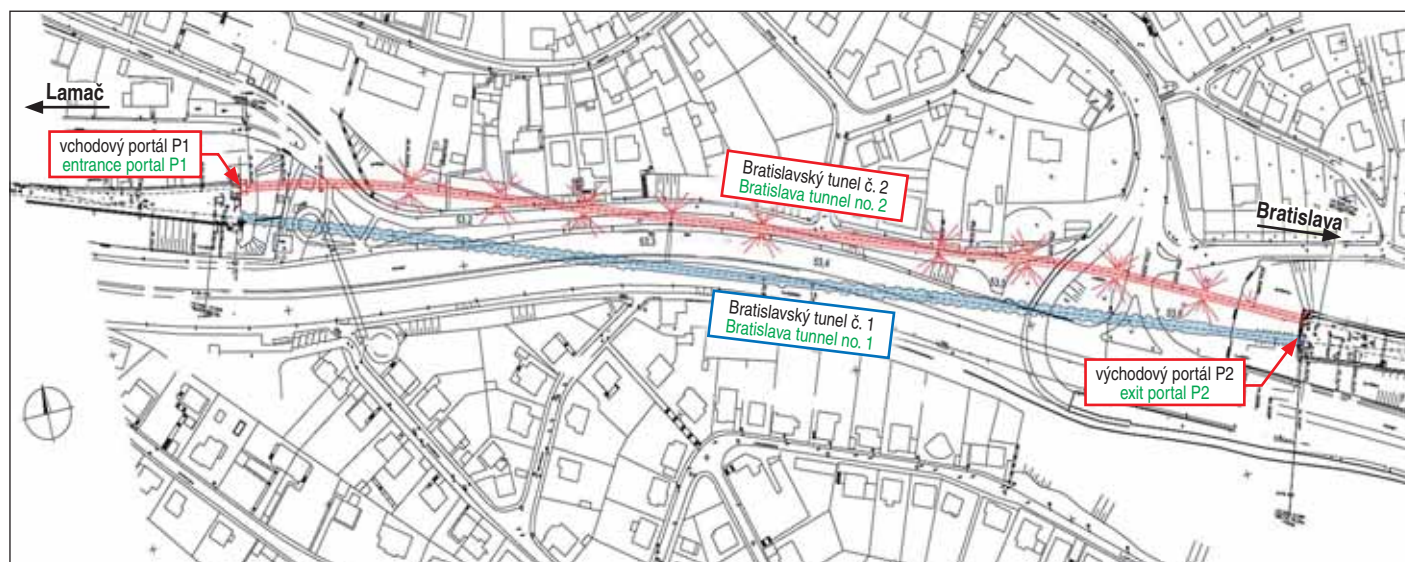
The aim of the article is to present the extent of the reconstruction works in the Bratislava tunnel no. 2 and the used technology. The line Devínska Nová Ves – Štúrovo is located on IV. corridor and it is a connection between Vienna and Prague via Bratislava to Budapest, while the Bratislava tunnels no. 1 and 2 run through the Malé Karpaty massif. Bratislava tunnel no. 2 construction started on December 15, 1900 and was completed in 1902. On the south side, it is adjacent to the historic Bratislava Tunnel No. 1, which is the oldest railway tunnel not only in Slovakia, but also in the entire former Austro – Hungarian Empire. Both tunnels and their portals are part of a complex registered as a National Cultural Monument of the Slovak Republic. The company TuCon, a. s. started reconstruction work in tunnel no. 2 in August 2022. Since the tunnel was part of existing railway infrastructure, the work had to be carried out in time periods during which the railway operations were interrupted. In addition to the rehabilitation of the tunnel's stone masonry lining, the installation of a new electric traction, light signals, operational and emergency lighting was also carried out. As part of the reconstruction, the replacement of rails, and 6 kV cable power lines, the restoration of portals P1 and P2, and the completion of surface structures in the above-portal area of the tunnels were also started. The works were successfully completed in June 2023.

1. ÚVOD

Bratislavský tunel č. 2 je elektrifikovaný (AC 25 kV 50 Hz), jednokolajný tunel, nachádzajúci sa v definičnom úseku 05 ŽST Bratislava hlavná stanica (obr.1). Bol razený klasickou rakúskou tunelovacou metódou (vtedy tzv. „modernou“ či „modifikovanou“), vo zväčša zvetranej hornine, v oblasti portálu P2 značne zavodnenej. V priebehu výstavby došlo práve v oblasti portálu P2 k rozsiahlemu

1. INTRODUCTION

Bratislava tunnel no. 2 is an electrified (AC 25kV 50Hz), single-track tunnel, located in section 05 ŽST Bratislava main station (Fig. 1). It was excavated using the classic Austrian tunneling method (then called “modern” or “modified”), in mostly weathered rock, in the area of the P2 portal, which was heavily waterlogged. During construction, a large-scale collapse occurred precisely in



Obr. 1 Situácia – Bratislavské tunely
Fig. 1 Situation – Bratislava tunnels

závalu vplyvom dlhotrvajúcich dažďov, čoho výsledkom bolo skrátenie oboch tunelov o cca 110 m. Svojím vekom 120 rokov patrí Bratislavský tunel č. 2 k najstarším tunelom na Slovensku. Z celkového počtu 75+2 tunelových blokov je 43 z dôvodu zvýšených horninových tlakov vystrojených spodnou klenbou. Tunelové ostenie v klenbovej časti dosahuje hrúbku 550 až 750 mm a je tvorené z kvádrového muriva z prevažne mäkkších druhov skalnej horniny (vápenec, trachyt, porézny travertín alebo zlepenec). Opora tunela je masívna, hrúbky 1000 až 1600 mm, tvorená z nepravidelne opracovanej tvrdej žuly.

Tab.1 Základné technické údaje stavby

	Bratislavský tunel č. 2
Typ tunela	jednokolajný
Dĺžka tunela	595,8 m
Z toho razená časť	586,7 m
Z toho hĺbená časť	9,1 m
Pozdĺžny sklon	9,20 ‰ a 6,70 ‰ v smere na bratislavskú stranu klesá
Počet koľají	1
Počet tunelových rúr	1
Počet prepojovacích chodieb	1
Výška priechodového prierezu	4,85 m
Max. výška nadložia	22 m

2. DÔVOD REKONŠTRUKCIE

Stavba sa nachádza v geologickom prostredí pohoria Malé Karpaty. V nadloží tunela sa nachádza slieňovitá bridlica, vrstvy kaolínu a roztrúsené tvrdšie horniny, ako je žula alebo pegmatit. Vzhľadom na značne rozrušené nadloží sa voda vyskytuje takmer v celej dĺžke tunela. Preto už pôvodné riešenie odvodnenia



Obr. 2 Stav Bratislavského tunela č. 2 pred rekonštrukciou
Fig. 2 Condition of the Bratislava tunnel no. 2 before reconstruction

the area of the P2 portal due to prolonged rains, which resulted in the shortening of both tunnels by approx. 110m. With its age of 120 years, the Bratislava tunnel no. 2 belongs to the oldest tunnels in Slovakia. Of the total number of 75+2 tunnel blocks, 43 are equipped with an invert vault due to increased rock pressures. The tunnel lining of the invert vault reaches a thickness of 550 to 750mm and is made of stone masonry from predominantly softer types of rock (limestone, trachyte, porous travertine or conglomerate). The tunnel abutments are massive, 1000 to 1600mm thick, made of irregularly chiseled hard granite.

Tab.1 Basic technical data of the structure

	Bratislava tunnel no. 2
Tunnel type	single track
Tunnel length	595.8m
Underground part	586.7m
Cut and cover part	9.1m
Longitudinal slope	9.20‰ a 6.70‰ decreasing towards Bratislava side
Number of tracks	1
Number of tunnel tubes	1
Number of crosspassages	1
Height of the tunnel clearance	4.85m
Max. height of overburden	22m

2. REASON FOR RECONSTRUCTION

The structure is located in the geological environment of the Malé Karpaty mountain range. The overburden of the tunnel contains marly shale, layers of kaolin and scattered harder rocks such as granite or pegmatite. Due to the significantly disturbed overburden, water occurs almost along the entire length of the tunnel. That's why the original drainage solution provided for waterproofing of asphalt strips and longitudinal drainage, supplemented by vertical culverts, 20 × 20cm, behind the lining. Due to persistent leaks, several construction modifications were carried out in the tunnel no. 2, in the past. In 1966, as part of the preparations for the electrification of the Devínska Nová Ves – Štúrovo line, shotcrete with an average thickness of 100 mm, anchored to a steel mesh, was applied to the tunnel vault along its entire length. As part of the reconstruction of tunnel no. 2 in 2008, a slab trackway with a railway was built, as well as a new central drain Ø 250mm with side drains, in the distance of 160mm from the lining. Despite these measures, water seepage through the stone masonry lining (especially in the tunnel vault) increased over time, which led to peeling of the old shotcrete coating (Fig. 2), to falling of water-saturated stone blocks or to the leaching of cement material from the lining joints, which threatened the safety of the passengers and the continuity of railway service. Likewise, the components of the railway superstructure and the traction were damaged due to moisture and regular flooding, and icing in the winter, which had a negative impact on their service life and thus increased the financial costs of routine maintenance.

3. RECONSTRUCTION WORKS

Following the problems described above, a set of remedial measures and assembly work had to be carried out in the tunnel. The investor is the state owned company, Railways of the Slovak Republic, and the designer responsible for the project documentation is Valbek SK Company, Ltd. The 10 months period of reconstruction works was determined by the contract. The works on the railway infrastructure were divided into three closure periods

počítalo s rubovou izoláciou z asfaltových pásov a pozdĺžnou drenážou, doplnenou o zvislé zvodnice za ostiením s rozmerom 20×20 cm. Z dôvodu pretrvávajúcich priesakov boli v minulosti v tuneli č. 2 vykonané viaceré stavebné úpravy. V roku 1966, v rámci príprav elektrifikácie trate Devínska Nová Ves – Štúrovo, bol v klenbe tunela na celú jeho dĺžku aplikovaný striekaný betón v priemernej hrúbke 100 mm, kotvený na oceľovú sieťovinu. V rámci rekonštrukcie tunela č. 2 v roku 2008 bola vybudovaná pevná jazdná dráha so železničným zvrškom a tiež nová stredová stoka Ø 250 mm s bočnými drenážami Ø 160 mm pred lícom ostenia. Napriek týmto opatreniam sa priesaky vody cez kamenné ostenie (najmä v klenbovej časti tunela) v čase zvyšovali, čo viedlo k odlupovaniu starého torkrétového nástreku (obr. 2), k vypadániu vodou nasýtených kamenných kvádrov či k vyplavovaniu cementového materiálu zo styčných škár ostenia, čo ohrozovalo bezpečnosť cestujúcej verejnosti a plynulosť železničnej prevádzky. Rovnako sa vplyvom vlhkosti a pravidelným zatápaním, v zimnom období zaľadnením, poškodzovali komponenty železničného zvršku a trakčného vedenia, čo malo negatívny dopad na ich životnosť a navyšovali sa tak finančné náklady na bežnú údržbu.

3. REKONŠTRUKČNÉ PRÁCE

V nadväznosti na vyššie opísané problémy sa musel v tuneli vykonať súbor sanačných opatrení a montážnych prác. Investorom stavby je štátny podnik Železnice Slovenskej republiky a spracovateľom projektovej dokumentácie firma Valbek SK, spol. s r. o. Obdobie realizácie rekonštrukčných prác bolo určené zmluvou o dielo na 10 mesiacov. Práce na železničnej infraštruktúre boli rozdelené do troch nepretržitých výluk N1, N2 a N3, v priebehu ktorých bola vždy prejazdna aspoň jedna z tunelových rúr, a to s ohľadom

N1, N2 and N3 of no train service, during which at least one of the tunnel tubes was always open for traffic, with regard to the artistic and craft restoration of the portals P1 and P2, which affected the operation of the tunnel no. 1.

Based on the request of the tunnel operator, work on the railway infrastructure during closure periods was carried out exclusively with the HV cable turned off, which was routed in the trough of tunnel no. 2.

3.1 N1 closure period

The works started during the closure period of tunnel no. 1, which lasted 28 days. During this period, it was necessary to carry out artistic and craft restoration on half of the areas of the portals P1, P2, adjacent walls and the new 6kV power line 550m long from the side of the Lamač railway station with a connection to the existing cable running from the Bratislava main railway station. The material composition of the tunnel portals on the Lamač side is mainly made of sandstone and limestone, while the Bratislava side portals are made of more durable trachyte materials from tuff quarries. The artistic-craft restoration consisted in the removal of unwanted vegetation and loose parts of the stone wall and masonry joints, blasting the surface with Sponge Jet dust-free technology and cleaning with pressurized water. After the cleaning process was completed, the loosened and fallen parts of the portal were replaced with sealants with mineral filler, anchored to the metal armature in an anti-corrosion treatment, which were artistically modeled. At the same time, the joints were filled with ash-lime joint mortar in the upper parts of the portals and expanding thixotropic mortar in the lower area of the portals. The masonry prepared in this way was subsequently sealed by chemical injection. A fast-hardening two-component polyurethane-based resin was used for these purposes.



Obr. 3 Obnovená plocha portálu P1 v okolí Bratislavského tunela č. 1 po výluke N1

Fig. 3 Renewed area of portal P1 in the vicinity of Bratislava tunnel no. 1 after the N1 closure period

na umelecko-remeselnú obnovu portálových čiel P1 a P2, ktorá svojím rozsahom vždy zasahovala do prevádzky vedľajšieho tunela.

Práce na železničnej infraštruktúre počas nepretržitých výluk sa na základe požiadavky správcu tunela vykonávali výhradne pri vypnutí VN kábla, ktorý bol vedený v žľabe tunela č. 2.

3.1 Nepretržitá výluka N1

Práce boli zahájené nepretržitou výlukou tunela č. 1, ktorá trvala 28 dní. Počas tejto výluky bolo potrebné vykonať umelecko-remeselnú obnovu na polovici plôch portálových čiel P1, P2, príslušných múroch a realizáciu nového elektrického vedenia 6 kV dĺžky 550 m zo strany ŽST Lamač s napojením na existujúci kábel vedený od železničnej stanice Bratislava, hlavná stanica. Materiálová skladba tunelových portálov z Lamačskej strany je tvorená prevažne z pieskovecov a vápencov, zatiaľ čo Bratislavská strana portálov z odolnejších trachytových materiálov z tufových lomov. Umelecko-remeselná obnova spočívala v odstránení nežiadúcej vegetácie a uvoľnených častí kamennej obmurovky a styčných škár muriva, otryskanie povrchu bezprašnou technológiou Sponge Jet a očistenie tlakovou vodou. Po ukončení čistiacich procesov sa pristúpilo k náhrade uvoľnených a vypadajúcich častí portálu tmelmi s minerálnym plnivom, kotvenými na kovovú armatúru v antikorošnej úprave, ktoré sa umelecky domodelovali. Zároveň sa vyplnili škáry trasovo-vápennou škárovacou maltou v horných častiach portálov a rozpínavou tixotropnou maltou v spodnej oblasti portálov. Takto pripravené murivo bolo následne plošne utesnené chemickou injektážou. Na tieto účely sa použila rýchlotvrdnúca dvojzložková živica na báze polyuretánu. Injektážne vrtvy mali priemer 10 mm a dĺžku 450 mm. Rozostupy vrtov vo vodorovných líniiach boli cca 0,66 m, vo zvislých líniiach vždy záviseli od skutočnej polohy danej škáry kamenného muriva. Po ukončení chemickej injektáže sa povrch muriva ručne očistil a farebne vyretušoval lazúrnym náterom. Nakoľko sa stavba blížila do zimného obdobia, dokončenie reštaurátorských prác sa presunulo do výluky N3 plánovanej do teplého obdobia. Celkovo sa podarilo za toto obdobie zreštaurovať plochy o výmere 424,4 m². Obnovenú plochu portálu P1 v okolí Bratislavského tunela č. 1 dokumentuje obr. 3.

3.2 Nepretržitá výluka N2

Stavebné a montážne práce v tuneli č. 2 boli začaté koncom septembra roku 2022 nepretržitou výlukou N2, ktorá trvala 231 dní. Práce sa začali demontážou pôvodného trakčného vedenia, kábloých rozvodov osvetlenia a zabezpečovacieho zariadenia. Po demontáži sa na celú dĺžku tunela zhotovila ochrana koľajového zvršku výdrevou a geotextíliou pred jeho znečistením a znehodnotením. Celkovo bolo použitých 165 m³ smrekového reziva. Následne sa mohol začať odstraňovať starý striekaný betón z klenby tunela. Pre túto činnosť bol použitý hydrodemolačný robot Aquacutter 710 V s vysokotlakovou pumpou, ktorý dokáže vyvinúť vodný lúč s tlakom až do 4000 barov (obr. 4).

Injection drillholes had a diameter of 10mm and a length of 450mm. The horizontal spacing of the drillholes was approx. 0.66m, the vertical spacing always depended on the actual position of the given stone masonry joint. After finishing the chemical grouting, the surface of the brickwork was handcleaned and retouched with a lacquer coating. As the construction was approaching the winter period, the completion of the restoration work was moved to the N3 closure period planned in the warmer season. In total, during this period, it was possible to restore areas with an area of 424.4m². The renewed area of portal P1 in the vicinity of Bratislava tunnel no. 1 is shown in Fig. 3.

3.2 N2 closure period

Construction and assembly work in tunnel no. 2 started at the end of September 2022 during the N2 closure period that lasted 231 days. The work began with the dismantling of the original traction current line, lighting distribution cables and security equipment. After dismantling, the entire length of the tunnel was protected with wood and geotextiles against pollution and damage. A total of 165m³ of spruce lumber was used. Subsequently, the old shotcrete could be removed from the tunnel vault. For this activity, the hydrodemolition robot Aquacutter 710V with a high-pressure pump was used, which can develop a water jet with a pressure of up to 4000 bars (Fig. 4).

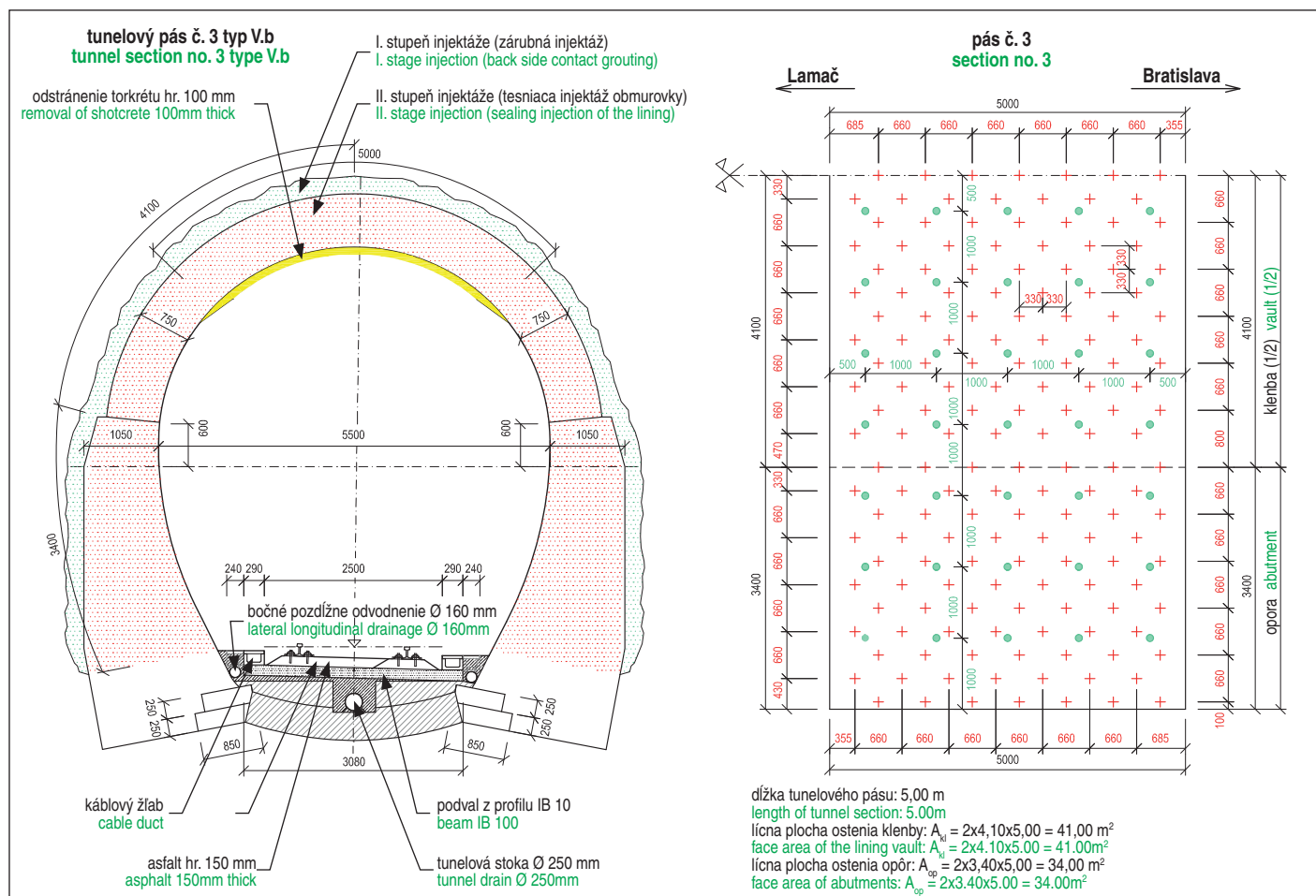
The advantage of deploying this robot was that simultaneously with hydrodemolition, the process of removing loose parts of the tunnel lining, as well as the process of deep grouting, could take place by simply adjusting the pressure of the water jet. This optimization freed up time for other work operations. By exchanging the nozzle, the demolition robot was also used to clean the stone wall from deposits, soot and other impurities. After removing the concrete and cleaning the lining, the joints between the stone blocks were cut to the required depth of 80mm with a hand-held electric tool and rinsed with a water pressure washer at a pressure of up to 500 bar. The joints were subsequently filled with an expanding thixotropic mortar preventing water seepage. In total, grouting was carried out on an area of 8,116.60m². The fallen parts of the tunnel lining were replaced with fibre-reinforced thixotropic



Obr. 4 Odstránenie starého torkrétového nástreku z ostenia tunela hydrodemolačným robotom Aquacutter 710 V
Fig. 4 Removal of old shotcrete from the tunnel lining with the hydrodemolition robot Aquacutter 710V



Obr. 5 Plombovanie vypadnutých kvádrov tunelového ostenia sanačnou hmotou
Fig. 5 Sealing of fallen blocks of the tunnel lining with repair material



Obr. 6 Injektážna schéma pre tunelový blok č. 3
Fig. 6 Injection scheme for tunnel section No. 3

Výhodou nasadenia tohto robota bolo, že súčasne s hydrodemoláciou mohol jednoduchou úpravou tlaku vodného lúča prebiehať aj proces odstránenia uvoľnených častí tunelového ostenia, aj proces hĺbkového vyškárovania. Touto optimalizáciou sa získal čas na iné pracovné operácie. Zámenou koncového zariadenia sa demolačný robot využil aj na očistenie kamennej obmurovky od usadenín, sadzí a iných nečistôt. Po odstránení betónu a očistení ostenia sa ručným elektrickým náradím škáry medzi kamennými kvádrmi vysekali na projektom požadovanú hĺbku 80 mm a vypláchli vodným tlakovým čističom s tlakom do 500 barov. Škáry boli následne vyplnené rozpínavou tixotropnou maltou zabráňujúcou vodným priesakom. Celkovo sa škárovanie zrealizovalo na ploche 8 116,60 m². Vypadnuté časti tunelovej obmurovky sa nahradili vláknami vystuženou tixotropnou hmotou na báze cementu, ktorá sa na povrch ostenia aplikovala torkrétovacím strojom (obr. 5). Pre lepšiu súdržnosť starého muriva s aplikovanou sanačnou hmotou sa zrealizovali oceľové tŕne Ø 10 mm chemicky ukotvené do muriva.

Hlavnou sanačnou činnosťou v tuneli bola tlaková aplikácia dvojstupňovej tesniacej injektáže (obr. 6) s použitím dvojzložkovej polyuretánovej hmoty, ktorá sa vháňala za ostenie cez injektážne obturátory umiestnené v škárach kamenného ostenia. Prvý stupeň predstavoval preinjektovanie horninového prostredia bezprostredne na styku s rubom tunelového ostenia. Nakoľko vrty prvého stupňa mali Ø 20 mm a dĺžku v klenbovej časti od 550 do 750 mm, mohli byť realizované ručným akumulátorovým náradím. Vrty Ø 32 mm v oporách dosahovali dĺžku cez 1000 mm, preto bola na ich realizáciu zvolená vrtná súprava Epiroc T15.

cement based material, which was applied to the surface of the lining with a shotcrete machine (Fig. 5). For better cohesion of the old masonry with the applied remedial material, steel spikes Ø 10mm chemically anchored into the masonry were installed.

The main rehabilitation operation in the tunnel was the pressure application of a two-stage sealing injection (Fig. 6) using



Obr. 7 Reinjektáž v klenbe tunela
Fig. 7 Reinjection in the tunnel vault

Raster vrtov bol navrhnutý $1,0 \times 1,0$ m, pričom ich skutočná poloha závisela na polohe škár ostenia. Druhý stupeň injektáže predstavoval preinjektovanie samotného kamenného ostenia tunela do približne $2/3$ jeho hrúbky. Aj pre tieto účely bolo použité ručné akumulátorové náradie, avšak priemer vrtov bol v tomto prípade len 14 mm. Raster vrtov vo zvislých a vodorovných líniah bol $0,66 \times 0,66$ m. V lokalitách, kde sa po tesniacej injektáži ukázali dodatočné priesaky podzemnej vody, bolo nevyhnutné realizovať reinjektáž (obr. 7) v šachovnicovom rasteri $0,33 \times 0,33$ m posunutom od injektážnych otvorov druhého stupňa o 100 mm. V celom tuneli vrátane portálových čiel bolo spotrebovaných približne 390 m^3 injektážnej zmesi.

Súčasne s injektážnymi prácami sa vykonávalo niekoľko ďalších pracovných operácií. V bezpečnostných výklenkoch a v najzavodnenejších miestach tunela sa v ostení realizovali zvislé zvodnice. Tie sa najskôr zapílili stenovou pílou Husqvarna WS463 na vodiacej lište, vyzbýjali sa ručným elektrickým náradím a následne sa v nich zhotovili subhorizontálne odvodňovacie vrty pomocou pásového minibagra Bobcat s vrtnou lafetou (obr. 8). Každý výklenok obsahoval 12 odvodňovacích vrtov $\varnothing 76$ mm s dĺžkou od 6 do 12 m, do ktorých sa osadila perforovaná oceľová rúra $\varnothing 60$ mm.

Zvodnice sa vyústili cez PVC potrubie do existujúcej kanalizačnej šachty napojenej na bočnú drenáž $\varnothing 160$ mm v chodníku tunela. Následne sa zvodnice zakryli polystyrénom s rábicovým pletivom a zatriekali vláknami vystuženou sanačnou hmotou na hr. 50 mm (obr. 9).

Poslednou činnosťou sanačných opatrení bola aplikácia hydroizolačnej elastickej membrány zamedzujúcej kvapkaniu vody na trakčné vedenie aplikovanej do vrcholu klenby tunela na rozvinutú dĺžku 3,00 m v priečnom smere. Práce spojené s opravou a zlepšením technického stavu ostenia boli vykonávané zo železničných vozňov, na ktorých bolo umiestnené lešenie s technickým a sociálnym zázemím pre pracovníkov. Aby bol dodržaný plánovaný termín ukončenia výluky N2, bolo nevyhnutné, aby sa montážne práce vykonávali súbežne so sanačnými, čím sa zvýšili požiadavky na organizáciu a logistiku prác v tuneli. V rámci montážnych činností sa zrealizovalo



Obr. 8 Realizácia odvodňovacích vrtov v stiesnených pomeroch bezpečnostného výklenku

Fig. 8 Implementation of drainage drillholes in the tight space of the safety niche



Obr. 9 Aplikácia striekaného betónu na zhotovené zvodnice

Fig. 9 Application of shotcrete on finished culverts

a two-component polyurethane, which was injected behind the lining through the injection obturators located in the joints of the stone masonry lining. The first stage was done by grouting of the rock immediately at contact with the backside of the tunnel lining. As the first stage boreholes had $\varnothing 20$ mm and a length in the vault from 550 to 750mm, they could be drilled with a hand-held battery tool. Drilling $\varnothing 32$ mm in the abutments reached a length of over 1000mm, therefore the Epiroc T15 drill rig was used. The grid of the drills was designed to be 1.0×1.0 m, while their actual position depended on the position of the lining joints. The second stage of injection consisted of injecting the stone masonry lining of the tunnel to approximately $2/3$ of its thickness. Hand-held cordless tools



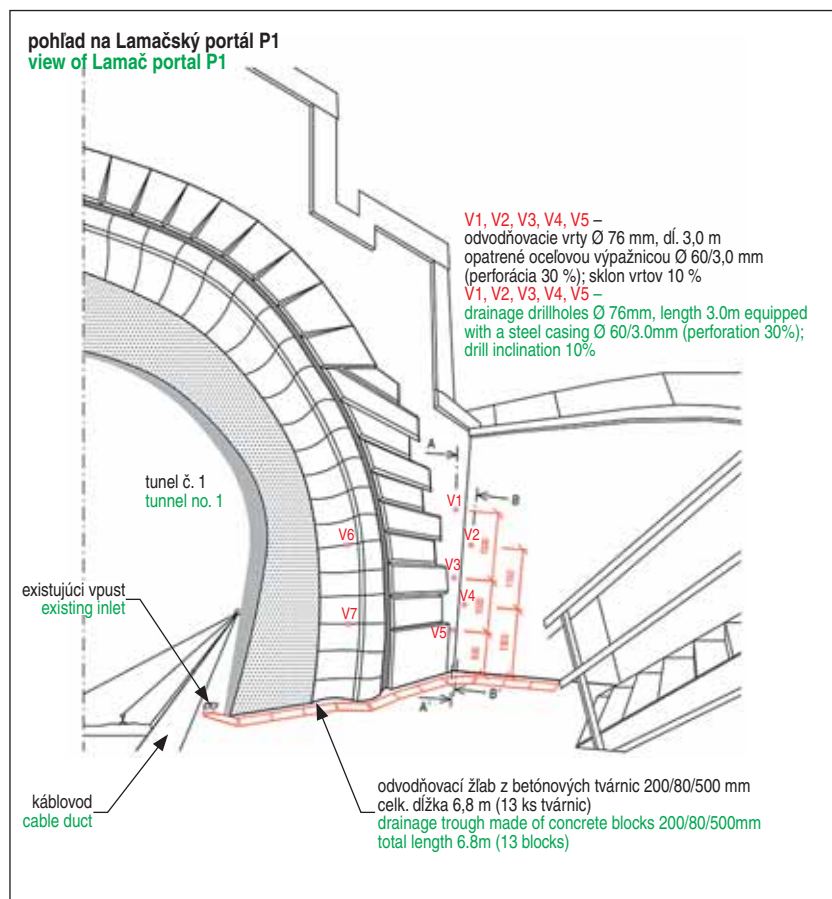
Obr. 10 Bratislavský tunel č. 2 po ukončených rekonštrukčných prácach

Fig. 10 Bratislava tunnel no. 2 after the completed reconstruction works



Obr. 11 Pohľad na zrekonštruovaný portál P2 od ŽST Bratislava hl. st.

Fig. 11 View of the reconstructed portal P2 from the Bratislava main railway station



Obr. 12 Výkres priestorového usporiadania doplnkového riešenia v kúte portálu P1

Fig. 12 Drawing of the spatial arrangement of the additional solution in the corner of the portal P1

nové trakčné vedenie, prevádzkové a núdzové osvetlenie, a trpasličie návěstidlá. Hlavné práce boli završené výmenou koľajnicových pásov tvaru 60E2 akosti 400HT, na celkovej dĺžke 700 m, spolu s materiálom zvršku. Doplnujúcimi činnosťami v tuneli boli obnova bielych bezpečnostných náterov na oporách tunela, osadenie tabúl s číslami tunelových blokov, tabúl s označením smeru a vzdialenosti únikových ciest. Taktiež bol prečistený existujúci drenážny systém tunela tlakovo-sacím vozidlom Man. Rekonštrukčné

were also used for these purposes, but the diameter of the holes in this case was only 14mm. The grid of boreholes was $0.66 \times 0.66\text{m}$. In the locations where additional seepage of groundwater appeared after the sealing injection, it was necessary to carry out reinjection (Fig. 7) in a checkerboard grid of $0.33 \times 0.33\text{m}$ shifted from the injection holes of the second stage by 100mm. Approximately 390m^3 of injection mixture was consumed in the entire tunnel, including the portals.

Several other work operations were carried out simultaneously with the injection works. In the safety niches and in the most waterlogged parts of the tunnel, vertical culverts were built in the lining. These were first sawn with a Husqvarna WS463 wall saw on a guide rail, then

hammered out with a hand-held electric tool, and then sub-horizontal drainage drillholes were drilled using a Bobcat tracked mini-excavator with a drill carriage (Fig. 8). Each niche contained 12 drainage drillholes $\varnothing 76\text{mm}$ with a length of 6 to 12m, into which a perforated steel pipe $\varnothing 60\text{mm}$ was installed.

The culverts exited through a PVC pipe into the existing sewer shaft connected to the side drainage $\varnothing 160\text{mm}$ in the tunnel walkway. Subsequently, the water pipes were covered with Styrofoam blocks covered with wire mesh and sprayed with a fiber-reinforced mortar to the thickness of 50mm (Fig. 9).

The last remedial work operation was the installation of a waterproofing elastic membrane preventing the dripping of water on the traction line applied to the top of the tunnel vault for a width of 3.00m in the transverse direction. The work related to the repair and improvement of the technical condition of the lining was carried out from railway wagons, on which scaffolding with technical and social facilities for workers was placed. In order to meet the planned completion date of the N2 closure period, it was necessary for the assembly work to be carried out simultaneously with the rehabilitation work, which increased the demand for the organization and logistics of the work in the tunnel. As part of the assembly activities, new traction lines, operational and emergency lighting, and signals were implemented. The main works were completed by installing the 60E2, 400HT rails, on a total length of 700.00m, together with the superstructure material.

Additional activities in the tunnel included the restoration of white safety coatings on the tunnel abutments, installation of signs with the numbers of the tunnel blocks, signs indicating the direction and distance to the escape routes. The existing drainage system of the tunnel was also cleaned with a Man pressure-suction vehicle. Reconstruction works in tunnel no. 2 were successfully completed on 5/10/2023 and the tunnel was put into early use (Fig. 10).



Obr. 13 Pohľad na celkovú situáciu portálu P1 od ŽST Lamač po ukončených prácach

Fig. 13 View of the overall situation of the P1 portal from the Lamač railway station after the completed works

práce v tuneli č. 2 boli dňa 10. 5. 2023 úspešne ukončené a tunel bol uvedený do predčasného užívania (obr. 10).

Okrem prác v tuneli sa v priebehu výluky N2 vykonávala aj umelecko-remeselná obnova na druhej polovici portálových čiel P1 a P2 v okolí tunela č. 2 na výmere približne 332,700 m² a výmena poruchového káblového vedenia 6 kV na úseku dĺžky takmer 1,0 km v zhlaví ŽST Bratislava hl. st.

3.3 Nepretržitá výluka N3

Posledná výluka N3 trvala 22 dní a zhotoviteľ stavby si ju u ŽSR objednal pre prípad, že sa v priebehu prvej výluky N1 nestihne zrealizovať umelecko-remeselná rekonštrukcia na plochách portálových čiel P1 a P2 v okolí tunela č. 1 s ohľadom na jej rozsah a časovú náročnosť. Táto predikcia sa ukázala ako správna, nakoľko sa museli dokončiť lokálne nedorobky zo zimného obdobia a finálna úprava hydrofóbnym náterom a penetráciou povrchu na báze organokremičitanov. Pohľad na zrekonštruovaný portál P2 zo smeru od ŽST Bratislava hl. st. je znázornený na obr. 11.

Zároveň sa v spodnej časti portálu P1 pri schodiskovom múre nedarilo dokončiť reštaurátorské práce z dôvodu opätovného vlhnutia muriva, a to aj napriek niekoľkonásobnej tesniacej injektáži. Preto bolo po dohode s investorom a projektantom stavby vypracované doplnkové technické riešenie (obr. 12) pozostávajúce z realizácie 7 ks odvodňovacích vrtov Ø 76 mm, dĺžky 3 m z nového odvodňovacieho žlabu z priekopových tvaroviek umiestneného v päte portálu. S cieľom zamedziť vode presakovať cez porézny materiál kamenného portálu sa v okolí ústia zrealizovaných vrtov zhotovila hydroizolačná elastická membrána. Uvedeným opatrením sa dosiahol požadovaný efekt a stavba mohla byť úspešne odovzdaná.

In addition to the work in the tunnel, during the N2 closure period, artistic and craft restoration was also carried out on the second half of the portal P1 and P2 areas in the vicinity of tunnel no. 2 on an area of approximately 332,700m² and replacement of a defective 6kV cable line on a section of almost 1.0km in length at the proximity of Bratislava main railway station.

3.3 N3 closure period

The last N3 closure period of train service shutdown lasted 22 days, and the construction contractor requested the N3 closure period from the owner if during the first N1 closure period, the artistic and craft reconstruction of the portals P1 and P2 in the vicinity of the tunnel no. 1 would not be completed with regard to its scope and time requirement. This prediction turned out to be correct, as the work unfinished during the winter period had to be completed with the final treatment with a hydrophobic coating and organosilicates based surface penetration. View of the reconstructed portal P2 from the direction of the Bratislava main railway station is shown in Fig. 11.

At the same time, restoration work could not be completed in the lower part of the P1 portal near the staircase wall due to wetting of the masonry, despite several sealing injections. Therefore, in agreement with the investor and the project designer, an additional technical solution was developed (Fig. 12) consisting of the realization of 7 drainage wells Ø 76mm, 3m long drilled from a new drainage channel made of trench drainage prefabricated blocks located at the foot of the portal. In order to prevent water from seeping through the porous material of the stone portal, a waterproofing elastic membrane was made around the mouth of the wells. The mentioned measure achieved the desired effect and the structure could be successfully handed over.

3.4 Práce nezávislé na výlukách železničné infraštruktúry

V nadportálových oblastiach a v oblastiach pred tunelmi sa paralelne s prácami v tuneli zrealizovalo niekoľko opatrení, ktoré mali za cieľ eliminovať priesaky vody z povrchu terénu do vnútorných priestorov tunelov. Pre tento účel sa zrealizoval šikmý vrt Ø 93 mm s výpažnicou Ø 89 mm, ústiaci v úžľabinovom priestore nad portálom P1 a vyvedený cez konštrukciu portálu do novovybudovanej revíznej šachty situovanej pred čelom portálu. Revízná šachta je zároveň spoločným výustným objektom aj pre tri novo realizované, vejárovito usporiadané, subhorizontálne vrty Ø 93 mm, vystrojené perforovanou oceľovou rúrou Ø 89 mm. Tie odvádzajú vodu zo spodného medzitunelového priestoru. Sanačné opatrenia pozostávali z vybudovania odvodňovacieho žlabu spolu s príľahlou kamennou dlažbou, z obnovy pôvodnej kamennej dlažby reliéfu a odvodňovacej priekopy na portáli P1 (obr. 13). Na portáli P2 bola obnovená pôvodná kamenná priekopa, ku ktorej sa dobudovala nová kamenná dlažba.

3.5 Neočakávané skutočnosti

Nakoľko sa jednalo o rekonštrukciu 120 rokov starého tunela a jeho portálov, v priebehu realizácie stavby sa vyskytlo niekoľko skutočností, na ktoré musela stavba okamžite reagovať. Počas búracích prác starého striekaného betónu bola ihneď v bloku č. 1 zistená prítomnosť striekaného betónu v hr. 250 mm, ktorý bol vystužený oceľovými banskými skružami koľajnicového profilu spolu s oceľovou sieťovinou v dvoch vrstvách. Takáto konštrukcia plnila pravdepodobne okrem hydroizolačnej aj funkciu statickú, preto sa po dohode s investorom a projektantom rozhodlo, že bloky s oceľovými nosníkmi sa ponechajú bez búrania. Z dôvodu plošného zavodenia v nebúraných blokoch, sa tiež pristúpilo k dvojstupňovej chemickej injektáži. Takýchto blokov bolo 11 ks z celkového počtu 75 ks. Pri demolačných prácach sa tiež zistilo, že kamenné ostenie pod odstráneným starým torkrétom je vodou nasiaknuté a značne tvarovo zdegradované, čo malo výrazný dopad na celkové množstvo spotreby sanačnej hmoty. V oblastiach nad portálmi P1, P2 oboch tunelov sa zas ponechali existujúce kamenné priekopy v pôvodnom stave bez búrania, nakoľko sa po ich odťažení a očistení preukázalo, že miera poškodenia nezodpovedá predpokladu v projekte.

4. ZÁVER

Realizácia tohto projektu bola pre spoločnosť TuCon, a. s. výzvou, nakoľko doteraz nerealizovala na železnici veľa zákaziek s podobným rozsahom prác. Organizácia stavebných činností v stiesnených pomeroch tunela č. 2, zásobovanie pracovísk výlučne železničnou dopravou, či oprava Národnej kultúrnej pamiatky v bezprostrednej blízkosti prevádzkovej koľaje znamenali náročné podmienky pre zhotovenie diela.

Už v čase začatia prvej koľajovej výluky sa ukázalo, že pokiaľ majú investor, projektant, správcovia železničnej infraštruktúry a zhotoviteľ spoločný cieľ, dielo je možné aj napriek niekoľkým nepredvídateľným skutočnostiam a zmenám projektu odovzdať včas, v požadovanej kvalite a v súlade so zmluvou o dielo.

Ing. LUKÁŠ ŽATKULIAK, lukas.zatkuliak@tucon.sk,
TuCon, a. s.

Recenzoval / Reviewed by: Ing. Vlastimil Horák

3.4 Works not requiring railway traffic closure

In the areas above the portals and in the areas in front of the tunnels, several measures were implemented in parallel with the work in the tunnel, with the aim of eliminating water seepage from the surface of the terrain into the underground spaces of the tunnels. For this purpose, an inclined borehole Ø 93mm with a casing Ø 89mm was drilled, entering the trough above the portal P1 and coming through the portal structure into the newly built inspection shaft located in front of the portal face. The inspection shaft is also a common outlet for three newly drilled, fan-shaped, subhorizontal wells Ø 93mm, equipped with a perforated steel pipe Ø 89mm. They drain water from the lower tunnel space. The rehabilitation measures consisted of the construction of a drainage channel together with the adjacent stone pavement, the restoration of the original stone pavement, and the drainage ditch at the P1 portal (Fig. 13). At the P2 portal, the original stone ditch was restored by a new stone pavement.

3.5 Unexpected conditions

Since it was a reconstruction of a 120-year-old tunnel and its portals, several conditions occurred during the construction, to which the construction had to react immediately. During the demolition work of the old shotcrete in block no. 1 a shotcrete 250mm thick reinforced with steel U shaped ribs and steel mesh in two layers were detected. Such a structure likely had also a static function in addition to waterproofing, therefore, after an agreement with the investor and the designer, it was decided that the sections with steel ribs would be left without demolition. Due to widespread waterlogging in the non-demolished sections, a two-stage chemical injection was also used. There were 11 such sections out of a total of 75. During the demolition work, it was also found that the stone masonry lining behind the removed old shotcrete is soaked in water and significantly deformed, which had a significant impact on the total amount of remedial material consumption. In the areas above the portals P1, P2 of both tunnels, the existing stone trenches were left in their original state without demolition, as it was proven after their removal and cleaning that the degree of damage did not correspond to the assumption in the project.

4. CONCLUSION

The project was a challenge for the company TuCon, a. s. as it has not yet performed many railway contracts with a similar scope of work. Organization of construction activities in the tight space of tunnel no. 2, the supply of workplaces exclusively by rail transport, or the repair of the National Cultural Monument in the immediate vicinity of the operating track represented difficult conditions for the construction.

Already at the time of the start of the first train service closure period, it became clear that if the investor, the designer, the operator of the railway infrastructure and the contractor have a common goal, the work can be handed over on time, in the required quality and in accordance with the contract, despite several unpredictable conditions and project changes.

Ing. LUKÁŠ ŽATKULIAK, lukas.zatkuliak@tucon.sk,
TuCon, a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BILOVESKÝ, E. *Technická správa – SO 33-02 Rekonštrukcia Bratislavského tunela č. 2, v ŽST Bratislava hl.st.* 2018. Technická správa. Miesto: Valbek SK, spol. s.r.o.