

# REKONSTRUKCE ČTYŘ ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ NA TRATI BRNO-MALOMĚŘICE-ADAMOV

## RECONSTRUCTION OF FOUR RAILWAY TUNNELS ON THE LINE BRNO-MALOMĚŘICE – ADAMOV

LINDA ČERNÁ VYDROVÁ

### ABSTRAKT

Článek se soustřeďuje na práce prováděné firmou Subterra, Divizí 1, na čtyřech tunelech železniční trati mezi Brnem a Blanskem v letech 2021–2022. Zmiňuje historii výstavby tunelů a důvody, které vedly k jejich průběžným stavebním úpravám a rekonstrukcím. Stručně jsou popsány geologické a hydrologické poměry dotčeného území. Těžištěm příspěvku je pak popis provádění odvodňovacích a injektážních prací. Současně jsou rámcově uvedeny činnosti, které bylo nutné provést v portálových i tunelových úsecích sanovaných podzemních děl.

### ABSTRACT

The article focuses on works carried out by Subterra, Division 1, performed on four tunnels of the railway line between Brno and Blansko in 2021–2022. It mentions the history of the construction of the tunnels and the reasons that led to their ongoing construction modifications and reconstructions. The geological and hydrological conditions of the area concerned are briefly described. The focus of the paper is a description of dewatering and grouting works. At the same time, the works that had to be carried out in the portal and the tunnel sections of the rehabilitated underground structures are outlined.

### ÚVOD

Stavba Brno-Maloměřice – Adamov je stavbou celostátního významu. Význam stavby spočívá v zachování provozuschopnosti traťového úseku, který je součástí důležitého 1. tranzitního koridoru a mezinárodních koridorů RFC 5 a RFC 7. Trať je zároveň začleněna do mezinárodní sítě TEN-T.

Celková délka úseku zrekonstruovaného společností „MALADA“ (sdružení firem Subterra a.s., Strabag Rail a.s. a Elektrizace železnic Praha a.s.), procházejícího úzkým skalnatým údolím řeky Svitavy, činí 9,4 km. V rámci stavby proběhla kompletní rekonstrukce železničního svršku, částečně i spodku, výstavba nové odbočky Svitava a komplexní úprava zastávek Bílovice nad Svitavou a Babice nad Svitavou. Dále byla provedena rekonstrukce vybraných mostních objektů, všech čtyř tunelů, 16 opěrných a zárubních zdí.

### INTRODUCTION

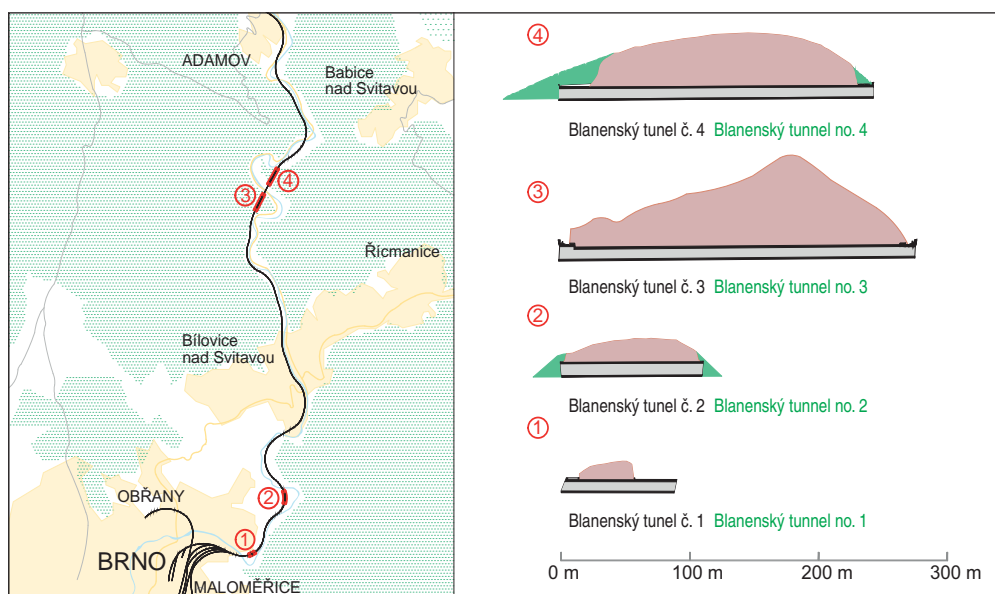
The Brno-Maloměřice – Adamov railway line is a structure of national significance. The importance of the structure lies in maintaining the operability of the line section, which is part of the important 1st transit corridor and the international corridors RFC 5 and RFC 7. The line is also integrated into the international TEN-T network.

The total length of the section reconstructed by “MALADA” (a joint venture of Subterra a.s., Strabag Rail a.s. and Elektrizace železnic Praha a.s.), passing through the narrow rocky valley of the Svitava River, is 9.4km. As part of the project, a complete reconstruction of the track superstructure, partly also of the subgrade, construction of the new Svitava branch line and comprehensive modification of the stops Bílovice nad Svitavou and Babice nad Svitavou took place.

Furthermore, the reconstruction of selected bridge structures, all four tunnels, 16 retaining walls was carried out. In the length of more than 1,500 meters of the railway track, the rock slopes were rehabilitated (Fig. 1).

### HISTORY

The construction of the railway line Brno – Česká Třebová by the private company “Severní dráhy císaře Ferdinanda” was started in the fall of 1843. The construction of the most complex section between Brno and Blansko, 21km long, was won in a public competition by the Italian businessman Felice Tallachini with a budget of 283,000 gold coin. The longer, but structurally easier part from Blansko to Česká Třebová was taken over by the Klein Brothers. The



Obr. 1 Přehledná situace trasy Brno Maloměřice – Adamov  
Fig. 1 Overview of the Brno Maloměřice – Adamov line



Obr. 2 Celkový pohled na údolí řeky Svitavy  
Fig. 2 Overall view of the Svitava river valley

zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

V délce více než 1 500 metrů železniční trati byly sanovány skalní svahy (obr. 1).

## HISTORIE

Stavba železniční trati Brno – Česká Třebová soukromou společností „Severní dráhy císaře Ferdinanda“ byla zahájena na podzim roku 1843. Realizaci nejsložitějšího úseku mezi Brnem a Blanskem délky 21 km získal ve veřejné soutěži italský podnikatel Felice Tallachini s rozpočtem 283 000 zlatých. Delší, ale stavebně snadnější část z Blanska do České Třebové převzali bratři Kleinové. Úsek Maloměřice – Blansko vede okrajem Moravského krasu úzkým a skalnatým údolím řeky Svitavy (obr. 2), kde muselo být vybudováno deset tunelů o celkové délce 1 772 m a také 49 mostů. Ražba tunelů byla prováděna členěným výrubem pomocí rakouské soustavy modifikované s uplatňováním hornických postupů při zajišťování výrubu. Geotechnické podmínky byly na tehdejší technologii provádění ražeb extrémně náročné. Za novou železniční trať v tomto úseku zaplatilo životem 22 dělníků a mnoho dalších bylo zmrzačeno. Průměrný denní postup činil 0,2 m, v nejtěžším úseku 0,16 m [3]. Ačkoliv byly tunely postaveny pro dvojkolejovou trať, byla zde položena pouze jedna kolej. Původní záměr byl uvést tuto trať do provozu nejpozději do konce roku 1846. K zahájení provozu na celé trati Brno – Česká Třebová však došlo se zpožděním až 1. ledna 1849. Druhá kolej byla položena v letech 1856–1858 [4].

Od 60. do 90. let 20. století probíhaly na trati přípravné práce pro elektrifikaci, které spočívaly v přestavbě tunelů s cílem zvětšení průjezdného průřezu. Rekonstrukce byly prováděny za provozu s jedinou kolejí v ose tunelu, kolem které bylo postaveno pažení. Po zvětšení profilu následovala stavba nových betonových portálů. V rámci úprav byl na přelomu 80. a 90. let 20. století postaven také nový tunel pod Novým hradem č. 8/2. Vyražen byl prstencovou metodou Vojenskými stavbami Praha. Jedná se o paralelně vedenou tunelovou troubu s původním tunelem č. 8, jehož profil

Maloměřice – Blansko section runs along the edge of the Moravian Karst through a narrow and rocky valley of the Svitava River (Fig. 2), where ten tunnels with a total length of 1,772m and also 49 bridges had to be built. Excavation of the tunnels was carried out by sequential excavation using the Austrian system modified with the application of mining procedures for supporting the excavation. The geotechnical conditions were extremely demanding for the technology of excavation at the time. In that section 22 workers paid with their lives for the new railway line and many others were crippled for life. The average daily progress was 0.2m, in the most difficult section 0.16m [3]. Although the tunnels were built for a double-track line, only one track was laid there. The original intention was to put that line into operation by the end of 1846 at the latest. However, the start of operation on the entire Brno – Česká Třebová line was delayed until January 1, 1849. The second track was laid in the years 1856–1858 [4].

From the 1960s to the 1990s, preparatory works for the line electrification took place, which consisted in rebuilding the tunnels with the aim of increasing the minimum clearance outline. The reconstructions were carried out simultaneously with one track being operated in the tunnel, around which a partition wall was built. The cross-section enlargement was followed by the construction of new concrete portals. As part of the modifications, a new tunnel under Nový Hrad No. 8/2 was also built at the turn of the 80s and 90s of the 20<sup>th</sup> century. It was excavated by Vojenské Stavby Praha using the ring method. It is tunnel tube running parallel with the original tunnel No. 8, whose cross-section was not large enough to accommodate a double-track electrified line.

In the years 1996–1999, the entire line Brno – Česká Třebová was electrified and modernized to become the first railway corridor.

## REASON FOR THE RECONSTRUCTION OF THE TUNNELS

The use of poor-quality waterproofing materials and inappropriate construction procedures during previous tunnel reconstructions resulted in a significant reduction in operational availability. In 2021, the tunnels showed a very poor structural-technological condition.

nebyl dostatečně velký pro umístění dvoukolejné elektrifikované trati.

V letech 1996–1999 byla celá trať Brno – Česká Třebová elektrifikována a modernizována do podoby prvního železničního koridoru.

### DŮVOD REKONSTRUKCE TUNELŮ

Použití nekvalitních hydroizolačních materiálů a nevhodných stavebních postupů při předchozích rekonstrukcích tunelů mělo za následek výrazné zkrácení provozní využitelnosti. Tunely vykazovaly v roce 2021 velmi špatný stavebně-technický stav. Jednalo se zejména o statické narušení obzdvíčky, průsaky podzemní vody na líci ostění a s nimi spojené úkapy na trakční vedení i technologické vybavení v tunelech. V zimním období byl zaznamenáván vznik rampouchů ohrožujících provoz a rozpínání ledu ve spárách nebo prasklinách, který postupně porušoval ostění tunelu. Dále byly zjištěny dutiny za ostěním zejména v místech geologických poruch, degradace materiálů ostění, nefunkční odvodňovací systém a narušená povrchová stabilita skalních svahů na portálech. Ačkoliv se tunely od sebe lišily svou konstrukcí, nejvýznamnější zaznamenané typy poškození byly pro všechny tunely společné [1].

### GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmová lokalita se nachází, z regionálně geologického hlediska, v oblasti brněnského masivu, který je zde zastoupen hlubinnými magmatickými horninami. Jedná se o biotitické a amfibol-biotitické granodiority typu Královo Pole a Blansko. Granodiority jsou většinou narůžověle šedé barvy (způsobené živci), místy se mohou nacházet i žilné horniny – porfyry, většinou růžové až načervenalé barvy. Horniny jsou zde nerovnoměrně zvětralé, výrazněji zvětralé jsou především podél puklin, kde mohou být silně až zcela zvětralé, až charakteru hrubozrnného písku. Skalní masiv je většinou hustě všesměrně rozpukaný, jednotlivé bloky mají polyedrický tvar. Kvartérní pokryv při povrchu terénu nad tunely je tvořen pouze málo mocnými deluviálními sedimenty a eluvii (cca do 0,5 m) [2].

Podzemní voda v nadloží a v prostoru tunelů komunikuje, bez vzájemné souvislosti, po puklinách. Souvislá hladina podzemní vody v místě tunelů sice neexistovala, při dešťových srážkách a tání sněhu zde však docházelo k lokálnímu nasycení puklin skalního masivu a průsakům vody do tunelu [2].

### SO 02-29-01 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 1

Blanenský tunel č. 1, zvaný též Obřanský, se nachází nejbližší centru Brna. Je umístěn v ostrém směrovém oblouku pod skalním výběžkem s přírodní památkou Obřanská stráž (obr. 3).

V původní podobě z roku 1848 měl tunel délku 80 m a ve směru od Brna byl osazen reprezentativním empírovým portálem z hladce otesaných bílých lomových kvádrů. Tento portál byl v roce 1989 zapsán na seznam kulturních památek. Při přestavbě tunelu v roce 1996 byl rozebrán na jednotlivé očíslované kvádry a bylo v plánu jej někde opětovně postavit, což byla podmínka památkářů. Dosud však není jasné místo jeho uplatnění a jednotlivé kameny, již bez památkové ochrany, smutně podléhají vlivu času u kolejíšť v Maloměřicích [4, 5]. Tunelová klenba byla vyzděna z cihel, opěry z lomového kamene. Hlavním cílem přestavby v roce 1996 bylo zvětšení průjezdního profilu pro elektrifikovanou trať. Vzhledem k nízkému nadloží (5 až 14 m) a výskytu poruchových zón ve skalním masivu zde došlo k realizaci nákladných technických opatření k zajištění stability. Jednalo

These were mainly structural damage to the lining, groundwater leaks on the lining face and related drips on contact lines and technological equipment in the tunnels. During the winter, the formation of icicles threatening traffic and expansion of ice in joints or cracks was recorded, which gradually damaged the lining of the tunnel. In addition, cavities behind the lining were found, especially in places of geological faults, degradation of the lining materials, a non-functional drainage system and disturbed surface stability of the rock slopes at the portals. Although the tunnels differed structurally, the most significant types of recorded damage were common to all tunnels [1].

### GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The site of interest is located, from a regional geological point of view, in the area of the Brno massif, which is represented here by deep igneous rocks. These are biotitic and amphibole-biotitic granodiorites of the Královo Pole and Blansko type. Granodiorites are mostly pinkish-grey in color (caused by feldspars), in some places vein rocks – derivatives – porphyries, mostly pink to reddish in color can be found. The rocks here are unevenly weathered, they are more significantly weathered especially along the fissures, where they can be heavily or completely weathered, to the character of coarse-grained sand. The rock massif is mostly densely cracked in all directions, the individual blocks have a polyhedral shape. The Quaternary cover at the surface of the terrain above the tunnels consists only of weak deluvial sediments and eluvium of small thickness (approx. up to 0.5m) [2].

Groundwater in the overburden and in the area of the tunnels communicates, without mutual inter-connection, along cracks. Although there was no continuous groundwater level at the site of the tunnels, during rainfall and snowmelt there was local saturation of the fissures of the rock massif and water seepage into the tunnel [2].

### SO 02-29-01 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNEL NO. 1

Blanenský tunel No. 1, also called Obřanský Tunnel, is located closest to the center of Brno. It is located in a sharp horizontal curve under the rock outcrop with the Obřanská Stráž natural monument (Fig. 3).

Originally, from 1848, the tunnel was 80m long and, in the direction from Brno, it was fitted with a representative Empire portal made of smoothly hewn white quarry blocks. The portal was registered in the list of cultural monuments in 1989. During the reconstruction of the tunnel in 1996, it was dismantled into individual numbered blocks and the plan was to re-assemble them in other location, which was a requirement of the historic preservationists. However, the location of the portal re-assembly is still not clear, and the individual stones are sadly subject to the ravages of time without monument protection at the railway yard in Maloměřice [4, 5]. The tunnel vault was built of bricks, the abutments of quarry stone. The main goal of the reconstruction in 1996 was to increase the structure gauge for the electrified line. Due to the low overburden (5 to 14m) and the occurrence of failure zones in the rock massif, expensive technical measures were implemented to ensure stability. On one hand, it was a series of permanent pre-stressed cable anchors (22 pieces) with a length of approx. 40m drilled across, in the overburden. Furthermore, double micropile umbrellas were made in the overburden of the tunnel vault in the longitudinal horizontal direction from both portals. They overlap each other approximately in the middle of the tunnel for a length of 3.0m [1]. The rock was excavated in 1996 by the controlled blasting technique. The new lining in the widened tunnel



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 3 Obřanská stráž nad Blanenským tunelem č. 1

Fig. 3 Hillside Obřanská stráž above Blanenský Tunnel No. 1

se jednak o řadu trvalých předepjatých pramencových kotev (22 ks) o délce cca 40 m provedených v nadloží, napřič. Dále byly v nadloží klenby tunelu v podélném vodorovném směru od obou portálů provedeny dvojité mikropilotové deštníky. Ty se přibližně v polovině tunelu vzájemně překrývají v délce 3,0 m [1]. Hornina byla v roce 1996 rozpojována trhacími pracemi metodou řízeného výlomu. Nové ostění v rozšířeném profilu tunelu bylo v převážné části provedeno ze stříkaného betonu s KARI sítěmi a tyčovými kotvami o délce 2,5–3,5 m. Plocha příčného řezu nad temenem kolejnice (dále jen TK) byla zvětšena na 71,72 m<sup>2</sup>. V průběhu provádění prací došlo k vykomínování nadloží v levé části vjezdového portálu a k závalu v oblasti tunelového pásu č. 4. Sanace spočívala v zaplombování tunelového nadloží betonem a dosypání do úrovně terénu. Tunel byl dále na obou portálech prodloužen krátkými betonovými tubusy (obr. 4). Jeho současná délka tak činí 87,8 m. Důvodem prodloužení tunelu před portály byla ochrana před pádem úlomků nebo skalních bloků do prostoru kolejí ze skalních stěn, resp. odřezů.

V rámci současné rekonstrukce bylo stávající tunelové ostění v celém rozsahu mechanicky a chemicky očištěno. V ražené části byla provedena předúprava povrchu vodním paprskem a dorovnání profilu tunelu stříkaným betonem. Následovalo osazení KARI sítí kotvených do vrtů. Výztuž byla zastříkána srovnávací vrstvou jemnozrnného betonu SB30, na kterou byla položena v rozsahu opěří a klenby fóliová izolace tloušťky 3 mm. Izolace byla opatřena průchodkami pro kotevní trny pro upevnění druhé vrstvy KARI sítí s následným vytvořením finální povrchové vrstvy ze stříkaného betonu SB30 v tloušťce 80 až 120 mm. Tunel nemá spodní klenbu. Pod kolejovým ložem se nachází spádový beton tloušťky 100 mm s příčným sklonem 2,5 %.

cross-section was mainly made of sprayed concrete with KARI meshes and rock bolts with a length of 2.5–3.5m. The cross-sectional area above the top of the rail (hereinafter referred to as TK) was increased to 71.72m<sup>2</sup>. During the execution of the works, a sinkhole was formed through the overburden in the left part of the entrance portal and a cave-in occurred in the area of tunnel section No. 4. The remediation consisted of sealing the tunnel overburden with concrete and backfilling to ground level. The tunnel was further extended on both portals with short concrete tubes (Fig. 4). Its current length is thus 87.8m. The reason for the extension of the tunnel in front of the portals was to protect against debris or rock blocks falling into the



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 4 Nový portál Blanenského tunelu č. 1

Fig. 4 The new portal of the Blanenský Tunnel No. 1

Nad oběma portály tunelu a v jejich blízkosti byly skalní svahy zářezu očištěny od náletových dřevin a od zvětralých, uvolněných bloků horniny. Po očištění byly části stávající ochrany skalních zářezů odstraněny. Následovalo definitivní zajištění skalních ploch stříkaným betonem, opláštění ochrannou plastickou mřížovinou a ocelovou sítí horolezeckým způsobem.

Průřez portálových úseků byl zvětšen pro elektrifikovaný dvojkolejný tunel. Vodotěsná izolace tunelu byla podle projektu napojena na betonové portály. Nakonec byl proveden sjednocující nátěr sanovaných železobetonových ploch.

### SO 02-29-02 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 2

Blanenský tunel č. 2 (obr. 5), zvaný též Bílovický, se nachází ve směrovém oblouku mezi Brnem a Bílovcemi nad Svitavou a prochází skalním hřbetem vycházejícím východním směrem z vrcholu kopce Hradisko do údolí Svitavy. Tunel byl postaven v roce 1848 a mezi lety 1940 až 1996 prošel několika rekonstruk-

track space from the rock slopes, or cut walls. As part of the current reconstruction, the entire existing tunnel lining was mechanically and chemically cleaned. In the excavated part, the surface was pre-treated with a water jet and the profile of the tunnel was leveled with sprayed concrete. This was followed by the installation of anchored KARI meshes. The reinforcement was sprayed with a leveling layer of SB30 fine-grained concrete, on which 3mm thick waterproofing foil was laid in the span of the abutments and the vault. The waterproofing was provided with grommets for anchors fixing the second layer of KARI mesh with the subsequent creation of the final surface layer of SB30 sprayed concrete with a thickness of 80 to 120mm. The tunnel has no invert lining vault. Under the track bed there is a 100mm thick watershed concrete base slab with a cross slope of 2.5%.

Above the two tunnel portals and near them, the rock slopes of the open cut were cleaned of self-seeding trees and weathered, loose blocks of rock. After cleaning, parts of the existing protection of open rock cuts were removed. This was followed by the permanent stabilization of the rock surfaces with sprayed concrete, covering them with protective plastic mesh and steel wire net installed in a rock climbing fashion.

The cross-section of the portal sections was increased for the electrified double-track tunnel. According to the project, the waterproofing foil of the tunnel was connected to concrete portals. Finally, a unifying coating of the renovated reinforced concrete surfaces was carried out.

### SA 02-29-02 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNEL NO. 2

Blanenský Tunnel No. 2 (Fig. 5), also called Bílovický Tunnel, is located in a horizontal curve between Brno and Bílovice nad Svitavou and passes through a rocky ridge coming east from the top of Hradisko hill into the Svitava valley. The tunnel was built in 1848 and underwent several reconstructions between 1940 and 1996. The total length is 164.5m and the cross-sectional area above TK is 72.27m<sup>2</sup>. In the portals locations, it was extended with concrete tubes to prevent fragments or entire rock blocks from falling into the track. The rock walls above the portals and in the open cut of the pre-portal section were sprayed with shotcrete. In 1999, the tunnel



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 5 Portál Blanenského tunelu č. 2 v průběhu rekonstrukce  
Fig. 5 Portal of the Blanenský Tunnel No. 2 during reconstruction

cemi. Celková délka je 164,5 m a plocha příčného řezu nad TK činí 72,27 m<sup>2</sup>. V místech portálů byl prodloužen betonovými tubusy, aby bylo zabráněno pádu úlomků případně celých skalních bloků do kolejiště. Skalní stěny nad portály a v zářezu předportálového úseku byly zastříkány betonem. V roce 1999 byl tunel elektrifikován. Ostění je zčásti železobetonové, zčásti ze stříkaného betonu (obr. 6). Řešení sanace Blanenského tunelu č. 2 bylo obdobné jako pro tunel č. 1, proto zde není zvlášť popisováno.

### SO 04-29-01 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 3

V roce 1848 byl postaven Blanenský tunel s číslem 3, zvaný taktéž Bílovický (obr. 7), který je se svou



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 6 Blanenský tunel č. 2  
Fig. 6 Blanenský Tunnel No. 2



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 7 Blanenský tunel č. 3  
Fig. 7 Blanenský Tunnel No. 3

délkou 276,590 m nejdelším ze čtyř rekonstruovaných tunelů. Zcela zásadním parametrem pro provádění práce na tomto tunelu byla malá světelná plocha příčného řezu nad TK, a to pouhých 54,3 m<sup>2</sup>. Evidovaný průjezdný průřez v tunelu je Z-GCZ3. Záchranné výklenky jsou umístěny vstřícně proti sobě. Celkem jich je 10 párů.

Nosná konstrukce sestává v klenbě z rádkového kamenného zdiva (žulové „kopáky“), v opěrách, základech i spodní klenbě z prostého betonu či betonu slabě vyztuženého. Tloušťka ostění klenby z kamenného zdiva dosahovala v extrémních hodnotách 20 až 73 cm, převážně se pohybovala v rozmezí 30 až 40 cm. Izolace proti vodě byla provedena jen u portálových a příportálových pásů dvěma vrstvami lepenky, jednou vrstvou izolace z PVC a asfaltovými nátěry [2].

Tunel prošel v letech 1949–1950 rekonstrukcí, elektrifikován byl v roce 1970. Při průzkumných pracích v roce 2019 byla v tunelu zastižena nevyplněná mezera za ostěním proměnné hloubky (0,5 až 3 m), kterou způsobily nadvýlomy při přerážení profilu za účelem rozšíření tunelu v letech 1967–1971. Tyto nadvýlomy byly částečně vyplněny kameny spojenými vápenocementovou maltou a kamennou rovnatinou, lokálně byly zastiženy zbytky původní výdřevy. V podélném profilu bylo v silně rozpukaném masivu zaznamenáno několik výrazných kaveren, rovněž vyplněných kamennou rovnatinou a starou výdřevou. Mocnost nadloží nad tunelem dosahuje výšky až 54 m. Odvodnění tunelu zajišťovaly boční oboustranné tunelové stoky o vnitřních rozměrech 300×300 mm, ve spádu cca 3,50 ‰ (ve shodě

was electrified. The lining is partly of the cast in place reinforced concrete, partly of sprayed concrete (Fig. 6). The solution for rehabilitating Blanenský Tunnel No. 2 was similar to that for Tunnel No. 1, so it is not described separately here.

### SO 04-29-01 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNNEL NO. 3

In 1848, Blanenský Tunnel No. 3, also called Bílovický Tunnel (Fig. 7), was built, which is the longest of the four currently reconstructed tunnels with its length of 276,590m. A very essential parameter for the work carried out on this tunnel was the small clear cross-sectional area above the TK, only 54.3m<sup>2</sup>. The registered structure gauge in the tunnel is Z-GCZ3. The rescue niches are placed opposite each other. There are 10 pairs in total.

The load-bearing structure consists of the stone masonry vault (granite one-side hewn blocks), and of the plain concrete or weakly reinforced concrete abutments and the invert vault. The thickness of the lining of the vault made of stone masonry reached extreme values of 20 to 73cm, mostly ranging from 30 to 40cm. Waterproofing was carried out only for portal and near-portal areas with two layers of cardboard, one layer of PVC foil and asphalt coatings [2].

The tunnel underwent reconstruction in 1949–1950, it was electrified in 1970. During survey work in 2019, an unfilled gap behind the lining of variable depth (0.5 to 3m) was discovered in the tunnel, which was caused by overbreaks when the profile was excavated for the purpose of widening the tunnel in 1967–1971. These overbreaks were partially filled with stones strengthened with lime-cement mortar and by stone packing, locally the remains of the



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 8 Portály blanenských tunelů č. 3 a 4  
Fig. 8 Portals of Blanenský Tunnels No. 3 and 4

s niveletou koleje) směrem k vjezdovému portálu, kde ústily do sběrného příkopu. Oba portály tunelu ze železobetonu byly prováděny v otevřeném zářezu.

Sanace portálových částí (obr. 8) byla v zadání stavby řešena koncepčně obdobně jako u zbývajících rekonstruovaných tunelů. Při odtěžování zásypů portálových částí tunelu č. 3 byl ale stav oproti předpokladu odlišný. Nebyly zastíženy výplňové betony ani podélná drenáž se svody, lišil se i tvar rubu klenby hloubené části tunelu. Na základě zjištěných skutečností byla dopracována realizační dokumentace, ve které byl na portálech doplněn výplňový beton a stříkaný beton podél bočních částí klenb portálů tak, aby byl vytvořený vhodný podklad pro izolaci. Dále byla doplněna drenáž podél skalních svahů zaústěním do odvodňovacích žlabů hloubených tunelů. Bylo proinjektováno nadloží klenby. Skalní stěny v prostoru portálů tunelu byly zbaveny náletových dřevin a nestabilních částí a odstraněny byly i stávající ochranné sítě.

Tunelové ostění bylo v celém rozsahu mechanicky (strojně, posléze ručně) a chemicky očištěno. Místa lokálních poruch betonového a kamenného zdiva byla sanována speciální maltou. Pronikání vody do prostoru tunelu bylo zabráněno injektáží za ostění klenby s ukončením nad opěrami tunelu. Doplněním injektáže byly vějířovitě odvodňovacích vrtů s dosahem za proinjektovanou zónu nad klenbou. Odvodňovací vrty byly provedeny i v bocích tunelu, s ohledem na skutečný výskyt průsaků a svedením do příčných žlabů se svodnicemi. Svodnice byly vyřezány do ostění strojně, vystrojeny speciálním profilem („alfa žlabem“), tepelně izolovány a v patě tunelu napojeny do tunelových stok. Ty byly vyčištěny a v případě nutnosti byly nahrazeny jejich porušené části. Dále byly nově osazeny kontrolní a revizní šachtičky. Byly kompletně vyměněny kabelovody a na portálových železobetonových plochách byl proveden sjednocující nátěr.

#### SO 04-29-02 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 4

Tunel číslo 4 (obr. 9) byl uveden do provozu v roce 1848. Výrub byl stabilní, proto na třech úsecích o celkové délce 54,4 m nebylo nutné žádné ostění. V letech 1950–1951 byly provedeny větší udržovací práce spočívající v úplné obnově několika tunelových pásů, přezděných lomovým kamenem. V letech 1967–1971 pak proběhla rekonstrukce celého tunelu. Obě opěry a klenby všech pásů, včetně obou portálů, byly provedeny z betonu. Původní světlý profil šířky 8,1 m a výšky 6,5 m byl přitom rozšířen a zvýšen [2]. Při rozšiřování tunelu v roce 1968 došlo v místě tunelových pásů 11 až 13 při těchto pracích k závalu celého profilu.

Dnešní celková délka tunelu, který byl navržen a postaven bez spodní klenby, je 244 m s maximální mocností nadloží cca 40 m. Stávající průjezdný průřez je Z-GC. V tunelu je po obou stranách 18 záchranných výklenků. Podél obou opěr jsou vybudovány odvodňovací stoky se spádem směrem k Brnu a zaústěním do řeky Svitavy. Vedle

original timber were found. In the longitudinal profile, several distinct caverns were recorded in the heavily cracked massif, also filled with stone packing and old timber. The thickness of the overburden above the tunnel reaches a height of up to 54m. Drainage of the tunnel was provided by side tunnel drains with internal dimensions of 300×300mm, with a slope of approx. 3.50‰ (in line with the level of the track) towards the entrance portal, where they led into an open collecting ditch. Both tunnel portals of the reinforced concrete were built in an open cut.

The renovation of the portal parts (Fig. 8) was conceptually planned in the construction contract similarly to the rest of the reconstructed tunnels. However, when the backfilling of the portal parts of tunnel No. 3 was excavated, the actual condition was found different compared to the assumption. No filling concrete or longitudinal drainage with downpipes was found, and the shape of the back of the vault of the cut-and-cover tunnel was also different. On the basis of the findings, the detailed design documentation was completed, in which filling concrete and sprayed concrete were added to the portals along the side of the portals vaults so that a suitable base for waterproofing was created. In addition, drainage along the rock slopes was added by inletting into the drainage ditches of the cut-and-cover tunnels. The overburden of the vault was grouted. The rock walls in the area of the tunnel portals were freed of self-seeding trees and unstable parts, and the existing protective nets were also removed.

The entire tunnel lining was cleaned mechanically (by machine, later by hand) and chemically. Places of local concrete failures and stone masonry were rehabilitated with a special mortar. The penetration of water into the tunnel space was prevented by grouting behind the lining vault ending above the tunnel abutments. The grouting was complemented by fans of drainage boreholes with a reach beyond the grouted zone above the vault. Drainage boreholes were also made in the sides of the tunnel, taking into account the actual occurrence of seepage and inletting into transverse troughs with gutters. Gutters were machine-cut into the lining, equipped with a special profile (the so-called “alpha channel”), thermally insulated and connected to the tunnel drains at the bottom of the tunnel. Those were cleaned and, if necessary, their damaged parts were replaced. In addition, inspection shafts were newly installed. The cable ducts



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 9 Výjezdový portál Blanenského tunelu č. 4  
Fig. 9 Exit portal of Blanenský Tunnel No. 4

odvodňovacích stok jsou v tunelu oboustranně osazeny betonové žlaby pro kabely.

Nad oběma portály a připortálovými pásy byla provedena izolace ze dvou vrstev lepenky A500 s asfaltovým nátěrem a jednou vložkou z PVC. Pod šterkovým ložem obou kolejí byla v celé délce tunelu vybetonována cca 150 mm silná deska se spádem k opěrám.

Sanace portálových částí i tělesa tunelu číslo 4 byla shodná s postupem zvoleným na tunelu číslo 3, tedy nasazením výplňových a těsnících injektáží. Obdobně byl též zastížen jiný skutečný stav konstrukcí, než předpokládala projektová dokumentace.

## INJEKTÁŽE

Nejvýznamnější součástí rekonstrukce tunelů č. 3 a 4 byly injektáže, proto budou popsány blíže. Injektážní vrtvy průměru do 50 mm byly v obou tunelech vedeny radiálně – vějířovitě, délka vrtů však byla u obou tunelů odlišná v závislosti na očekávaných podmínkách a fázi injektáže. Vzhledem k porušení horninového masivu, k historickým nadvýlomům, resp. komínům byl před zahájením prací proveden geofyzikální doprůzkum pro bližší identifikaci problematických úseků. K ověření stavu za rubem ostění byly vybrány sanační vrtvy v příslušném vějíři využívány také jako průzkumné. Vrtání i injektáže byly realizovány po etapách. Postup injektáže byl v průběhu provádění prací upřesňován podle stavu zastíženého na místě.

Jako první krok byly rychle reagující chemickou hmotou DSI Inject PUR HF (s nastavenou dobou reakce 60 s a omezeným množstvím na běžný metr vrtu) provedeny horizontální a vertikální clony, kterými byly tunelová trouba a injektované horninové prostředí v příčném a podélném směru rozděleny na jednotlivé sekce. Injekční tlak se pohyboval v rozsahu 0,6 až 1 MPa, dosah injektáže byl sledován pomocí v předstihu zhotovených monitorovacích vrtů.

Druhým krokem byla nízkotlaká cementová injektáž přes obturátory, podle schématu daného realizační dokumentací. U tunelu č. 3 sloužila cementová injektáž primárně k vyplnění prostoru zakládky a ke zpevnění kamenné obezdívky a v každém injektážním úseku byla prováděna opakovaně po etapách. V případě obou tunelů byly cementovou směsí vyplněny dutiny a kaverny menšího rozsahu.



Obr. 10 Tříkotoučová pila Tyrolit  
Fig. 10 Tyrolit three-blade saw

were completely replaced and a unifying coating was applied to the portal's reinforced concrete surfaces.

## SA 04-29-02 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNEL NO. 4

Tunnel No. 4 (Fig. 9) was put into operation in 1848. Excavation walls were stable, as no lining was necessary in three sections with a total length of 54.4m. In the years 1950–1951, major rehabilitation work was carried out consisting in the complete restoration of several tunnel sections, lined with quarry stone. In the years 1967–1971, the entire tunnel was reconstructed. Both abutments and vaults of all sections, including both portals, were made of concrete. The original cross-section of 8.1m in width and 6.5m in height was widened and increased [2]. During the widening of the tunnel, a collapse of the entire profile occurred in the place of tunnel sections 11 to 13 during these works in 1968.

Today's total length of the tunnel, which was designed and built without an invert vault, is 244m with a maximum overburden thickness of approx. 40m. The existing structure gauge is Z-GC. There are 18 rescue niches on both sides of the tunnel. Drainage channels are built along both abutments with a slope towards Brno and discharge into the Svitava River. In addition to the drainage channels, the tunnel is equipped with concrete channels for cables on both sides.

Waterproofing of two layers of A500 cardboard with asphalt coating and one PVC foil was made above the two portals and adjacent portal areas. Under the gravel bed of both tracks, a 150mm thick slab with a slope towards the abutments was concreted over the entire length of the tunnel.

The rehabilitation of the portal parts and the tunnel No. 4 was the same as the procedure chosen for tunnel No. 3, i.e. the use of filling and sealing grouting. Similarly, a different actual state of the structures than the project documentation assumed was also discovered.

## GROUTING

The most important part of the rehabilitation of the tunnels No. 3 and 4 was grouting, so it will be described in more detail. Grouting boreholes with a diameter of up to 50mm were driven radially in both tunnels – in a fan-like fashion, but the length of the boreholes was different in both tunnels depending on the expected conditions and the stage of grouting. Due to the damage of the rock mass, to historical overbreaks, respectively sinkholes, a geophysical survey was carried out before the start of work for a closer identification of problematic sections. To verify the condition behind the back of the lining, selected grouting boreholes in a given fan were also used as exploratory boreholes. Drilling and grouting were carried out in stages. The grouting procedure was refined during the execution of the works according to the situation encountered on site.

As a first step, horizontal and vertical cutoff curtains were made with the fast-reacting chemical substance DSI Inject PUR HF (with a reaction time set to 60s and a limited amount per meter of the borehole), which divided the tunnel tube and the grouted rock environment into individual sections in the transverse and longitudinal directions. The grouting pressure was in the range of 0.6 to 1MPa, the grouting range was monitored using monitoring boreholes built in advance.

The second step was low-pressure cement grouting through the packers, according to the scheme given in the detailed design documentation. In tunnel No. 3, the cement grout was primarily used to fill the foundation area and to strengthen the stone wall, and in each grouting section it was carried out repeatedly in stages. In the case of both tunnels, cavities and smaller caverns were filled with cement mixture.



Třetím krokem bylo vysokotlaké injektování chemickou směsí dále do masivu. Účelem bylo vyplnit zatím nezaplňené dutiny a jemné diskontinuity, případně poruchy za oblastí proinjektovanou cementem. Napěňující chemická směs třetí etapy byla používána také pro dovyplnění případných větších dutin a kaveren, u kterých by cementová směs mohla způsobit nadměrné zatížení ostění. Jako chemická injektáž byly používány dvousložkové polyuretanové směsi od výrobce DSI Schaum Chemie sp. V tunelu číslo 3 bylo přistoupeno ještě k další fázi injektáže, a to nízko viskózní chemickou směsí k dotěsnění injektovaného prostředí. V průběhu injektáží bylo důsledně sledováno, zda nedochází k úniku směsi a deformaci tunelového ostění.

Odvodňovací vrty o průměru do 60 mm byly (jak je již uvedeno výše u tunelu č. 3) vrtány radiálně do klenby i opěří tunelů za proinjektovanou oblast a zaústěny do příčných svodnic šířky 100 mm. Příčné svodnice byly vyřezány strojně tříkotoučovou pilou Tyrolit (obr. 10).

V kombinaci injektáží a odvodňovacích opatření došlo k vyplnění a dotěsnění prostoru za rubem ostění tunelů a zároveň byla organizovaně svedená voda z okolního horninového prostředí do odvodňovacích stok.

## ZÁVĚR

Veškeré práce probíhaly v rámci kompletní výluky trati, která byla zahájena 12. prosince 2021 a ukončena 9. prosince 2022. Vlastní rekonstrukce tunelů probíhala od února do listopadu roku 2022. Dálkové vlaky byly během výluky odkloněny přes Havlíčkův Brod, osobní vlaky nahrazeny autobusy. Projekt byl částečně financovaný z úvěru od Evropské investiční banky v rámci nástroje pro propojení Evropy „Connecting Europe Facility“, investorem byla Správa železnic, s.o.

Výše popsaná rekonstrukce byla pro zhotovitele výzvou zejména s ohledem na neutěšený stav portálů i porušeného ostění tunelů s rozsáhlými kavernami za jeho rubem. Současně s rekonstrukcí ostění bylo prováděno projektem zadané osazování fóliového těsnění a injektážní práce místně kombinované s odvodňovacími vrty. Podle skutečně zastižených poměrů a ve spolupráci s projektantem bylo hledáno co nejvhodnější technické řešení, neboť rozsah injektážních prací byl dopředu těžko odhadnutelný. Práce musely být zasazeny do pevného časového rámce vymezeného provozní výlukou trati. Úspěch sanací, především hydroizolačních prací, ukáže až příchod srážkově vydatných měsíců. V každém případě dokončení rekonstrukce tunelů spojených především s provedením hydroizolací přináší firmě Subterra a.s. další cenné praktické zkušenosti.

Ing. LINDA ČERNÁ VYDROVÁ, Ph.D.,  
lcernavydrova@subterra.cz, Subterra a.s.

Recenzoval *Reviewed*: Ing. Pavel Polák

The third step was high-pressure grouting of a chemical mixture further into the massif. The purpose was to fill the cavities and fine discontinuities, or faults behind the area grouted with cement, that had not yet been filled. The foaming chemical mixture of the third stage was also used to fill any larger cavities and caverns where the cement mixture could cause excessive load on the lining. Two-component polyurethane mixtures from the manufacturer DSI Schaum Chemie sp. were used as chemical grout. In tunnel No. 3, another stage of grouting was carried out, namely with a low-viscosity chemical mixture to seal the grouted environment. During the grouting, any leakage of the mixture and deformation of the tunnel lining were carefully monitored.

Drainage boreholes with a diameter of up to 60mm were (as already mentioned above for tunnel no. 3) drilled radially into the vault and abutment of the tunnels beyond the grouted area and inlet into transverse gutters with a width of 100mm. Transverse gutters were machine cut with a three-disc Tyrolit saw (Fig. 10).

In a combination of grouting and drainage measures, the space behind the lining of the tunnels was filled and sealed, and at the same time, water from the surrounding rock environment was channeled into the drainage sewers.

## CONCLUSION

All work was carried out during a complete closure of train operations on the line, which began on December 12, 2021 and ended on December 9, 2022. The actual reconstruction of the tunnels took place from February to November 2022. During the closure, long-distance trains were diverted through Havlíčkův Brod, passenger trains were replaced by buses. The project was partly financed by a loan from the European Investment Bank under the “Connecting Europe Facility”, the investor was Správa železnic, s.o.

The reconstruction described above was a challenge for the contractor, especially with regard to the dismal state of the portals and the damaged lining of the tunnels with extensive caverns behind it. Simultaneously with the reconstruction of the lining, the installation of foil waterproofing and grouting works, locally combined with drainage boreholes, was carried out as specified by the project. According to the actual conditions and in cooperation with the designer, the most suitable technical solution was sought, as the scope of the grouting works was difficult to estimate in advance. The works had to be fitted into a fixed time frame defined by the operational closure of the line. The success of the rehabilitations, especially the waterproofing works, will only be shown by the arrival of months with abundant rainfall. In any case, the completion of the reconstruction of the tunnels, primarily associated with waterproofing, brings Subterra a.s. another valuable practical experience.

Ing. LINDA ČERNÁ VYDROVÁ, Ph.D.,  
lcernavydrova@subterra.cz, Subterra a.s.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] HASÍK, O. *Realizační dokumentace stavby Brno-Maloměřice St.6 – Adamov, BC*. Technická zpráva. Praha: METROPROJEKT, 2022, 45 s.
- [2] KYSELÁK, M. *Zadávací dokumentace stavby Brno-Maloměřice St.6 – Adamov, BC*. Technická zpráva. Brno: SUDOP BRNO, 2020, 170 s.
- [3] HORÁK, V., SVOBODA, R. Z historie podzemních staveb. *Tunel*, 2014, roč. 23, č. 2, s. 106–109.
- [4] NOHEL, P. *Proměny Obřanského tunelu* [online]. 03/2018. Dostupné: <http://spz.logout.cz/infra/obransky.html>
- [5] *Ústřední seznam kulturních památek České republiky* [online]. Praha: Národní památkový ústav. 02/2013. Identifikátor záznamu 161618: Železniční tunel, z toho jen: portál. Památkový katalog.