

PŘESTAVBA TUNELU BLANENSKÝ Č. 8/2 RECONSTRUCTION OF TUNNEL BLANENSKÝ NO. 8/2

LUKÁŠ KUNC

ABSTRAKT

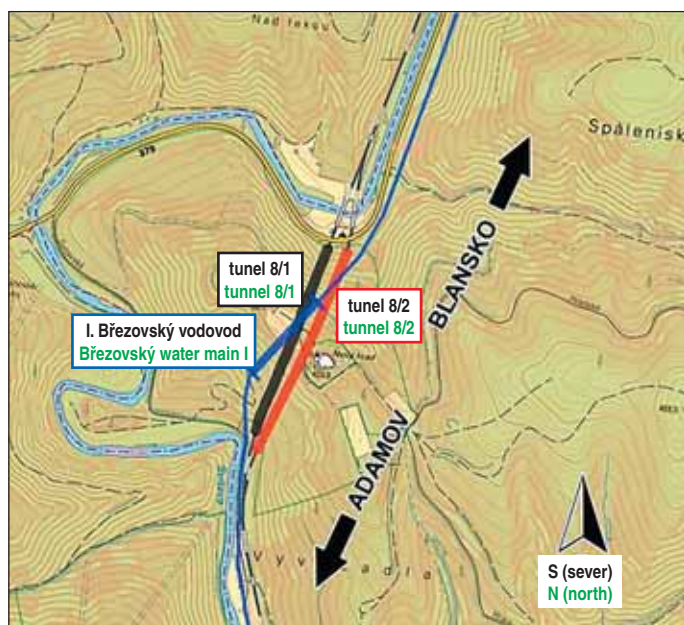
V rámci rekonstrukce traťového úseku mezi městy Adamov a Blansko byla provedena přestavba jednokolejného tunelu Blanenský č. 8/2, vyraženého prstencovou metodou v letech 1988 až 1992. Byl vystrojen definitivním ostěním ze železobetonových a litinových tubingů s cihelnou zakládkou mezi výrubem a ostěním. Skladba ostění tunelu vykazovala nedostatečnou izolaci proti vodě. V zimě se uvnitř tunelu tvořily rampouchy, ledopády a výmrazky v koleji, provoz železniční tratě nebyl plynulý a bezpečný, což byl jeden ze zásadních důvodů pro návrh přestavby tunelu. Projekt zahrnoval zbudování kompletně nového primárního a sekundárního ostění s mezilehlou izolací. Počáteční měsíce byly pro přeražbu a provoz na povrchu značně komplikované kvůli několika nepříznivým faktorům: (a) provoz vedlejší koleje č. 1 během prací až do výluky této koleje; (b) stabilita výrubu musela být po několik měsíců zajišťována suchou směsí stříkaného betonu; (c) povolení trhacích prací nabylo právní moci asi dva měsíce po zahájení ražby, takže do té doby se výrub v pevných granodioritech rozpojoval pouze mechanicky tunelbagrem. Napjatý termín pro dokončení přestavby ovlivnily další neméně významné události. Jednalo se zejména o jeden nezaviněný geologický nadvýlom v tunelu, dodatečné vybudování kotevního prahu na blanenském portálu s lanovými kotvami délky 45 m a o havárii Březovského vodovodu.

ABSTRACT

As part of the reconstruction of the track section between the towns of Adamov and Blansko, the single-track tunnel Blanenský No. 8/2, mined between 1988 and 1992 using the ring method, was reconstructed. It was provided with a final lining made of reinforced concrete and cast iron segments with a brick packing between the excavation and the lining. The composition of the tunnel lining proved insufficient waterproofing. In winter, icicles, icefalls and frost heaves were formed inside the tunnel; the operation of the railway line was not smooth and safe, which was one of the fundamental reasons for the proposal to reconstruct the tunnel. The design involved construction of completely new primary and secondary linings with intermediate waterproofing. The initial months were quite complicated for re-excavation and operations at the surface due to several adverse factors: (a) the operation of No. 1 siding during the works until the closure of that siding to traffic; (b) the stability of the excavation had to be secured for several months by a dry process sprayed concrete; (c) the decision to permit the blasting operations came into force about two months after the start of mining, so until then the excavation in the hard granodiorites was only carried out mechanically with a tunnel excavator. The tense deadline for the completion of the reconstruction was affected by other equally important events. In particular, this involved one unavoidable geological overbreak in the tunnel, the additional construction of an anchoring plinth on the Blansko portal with 45m long cable anchors, and the accident of the Březovský water main.

1. POPIS TUNELU PŘED PŘESTAVBOU (1988–2021)

Tunel č. 8/2 byl vyražen pro samostatné vedení koleje č. 2, protože deformace a následné sanace tunelu č. 8/1, provedené před



Obr. 1 Přehledná situace tunelů 8/1, 8/2 a Březovského vodovodu
Fig. 1 Lay-out of tunnels 8/1, 8/2 and Březovský water main

1. DESCRIPTION OF THE TUNNEL BEFORE RECONSTRUCTION (1988–2021)

Tunnel No. 8/2 was excavated for the separate running of track No. 2, because the deformation and subsequent rehabilitation of tunnel No. 8/1, carried out before 1988, no longer allowed for double-track operation in tunnel No. 8/1 (Fig. 1).



Obr. 2 Litinové a železobetonové tubingy, portál P1 (Adamov)
Fig. 2 Cast iron and reinforced concrete lining segments, P1 portal (Adamov)

rokem 1988, již v tunelu č. 8/1 neumožňovaly původně dvoukolejný provoz (obr. 1).

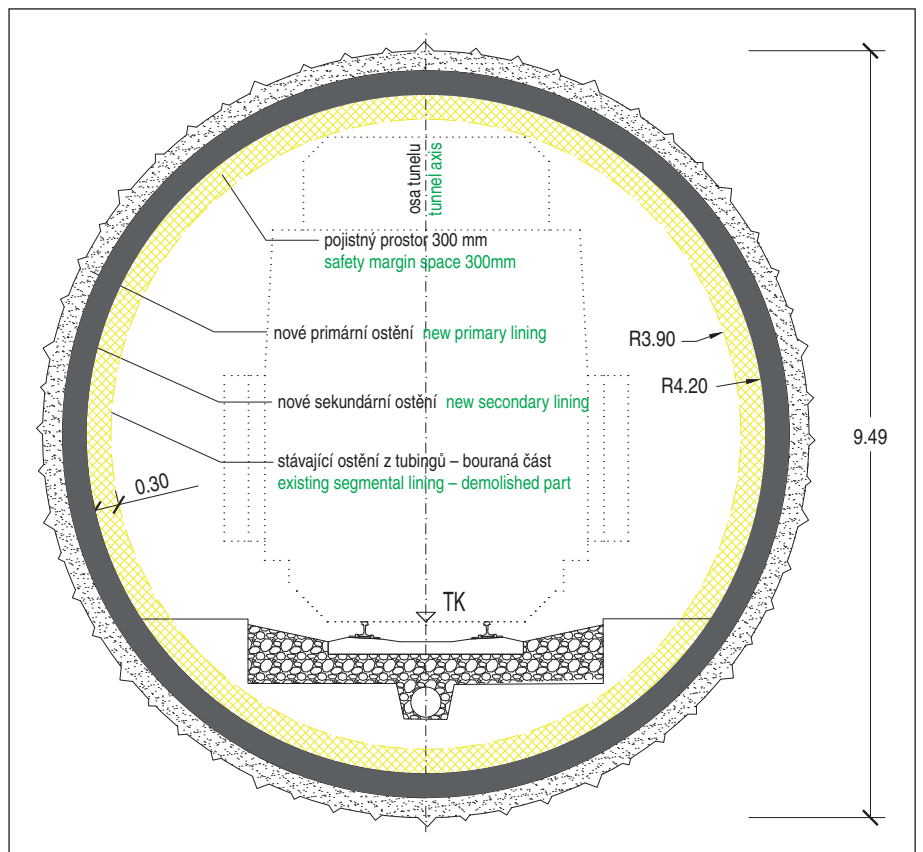
Tunelová trouba raženého tunelu č. 8/2 byla v celé délce kruhového průřezu vystrojena montovaným ostěním se světelným průměrem 7,80 m, které bylo u obou koncových částí tunelu provedeno z litinových tubingů (typy Moskva a Leningrad, šířky 0,75 m, vždy osm kusů plus klenákový díl v každém prstenci, dovoz SSSR). Ve střední části bylo ostění provedeno ze železobetonových tubingů pravděpodobně již českého výrobce (obr. 2).

Docházelo ke značným průsakům až tečení vody přes ostění, a to především v částech tunelu procházejících mylonity na blanenské straně. Vlhkost způsobovala značnou korozi ocelových spojů a v důsledku mrazu se v monolitických železobetonových částech ostění tunelu zároveň objevovaly trhliny.

2. PROJEKT PŘESTAVBY TUNELU

2.1 Příčný profil tunelu ve stupni DSP a DZSD

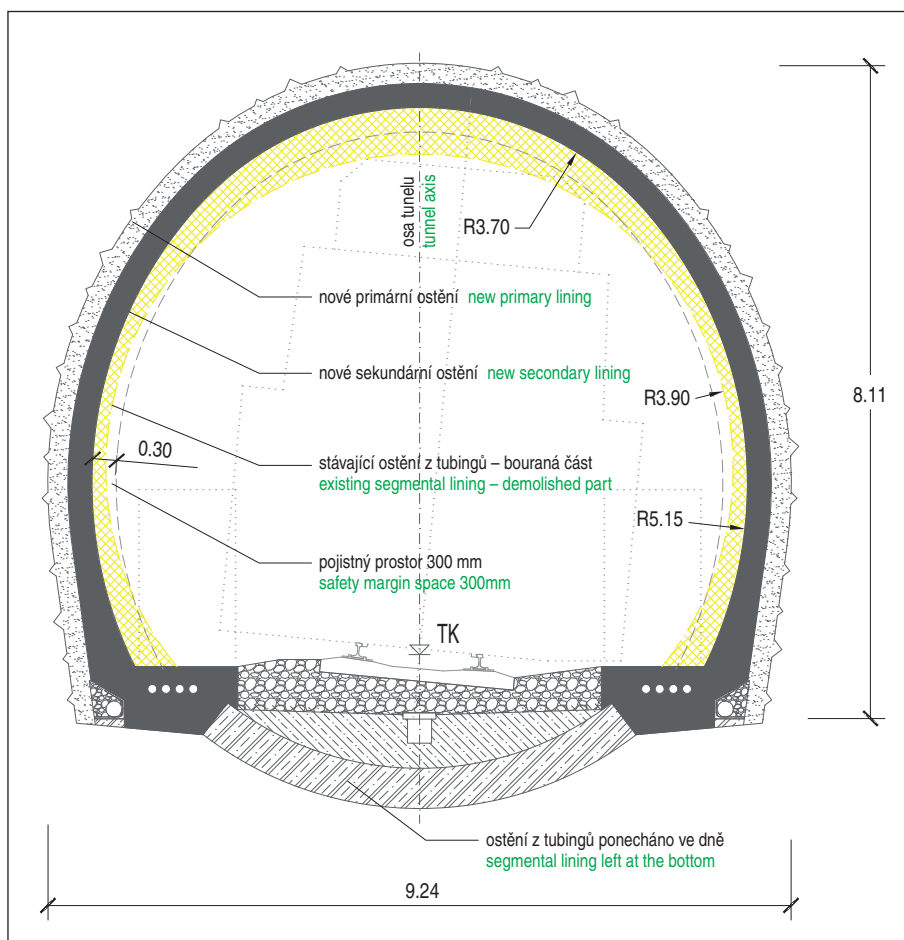
Přestavba tunelu spočívala dle projektu ve stupni projektové dokumentace pro stavební povolení (DSP, SUDOP BRNO) v demolicí původního montovaného ostění v celé délce tunelu, zvětšení světelného kruhového profilu



zdroj SUDOP BRNO source SUDOP BRNO

Obr. 3 Příčný profil tunelu ve stupni DSP

Fig. 3 Tunnel cross-section at final design stage



zdroj AMBERG Engineering Brno source AMBERG Engineering Brno

Obr. 4 Příčný profil tunelu ve stupni DZSD

Fig. 4 Tunnel cross-section at DZSD stage

The tunnel tube of the mined tunnel No. 8/2 was lined along the entire length of the circular cross-section with a segmental lining with a finished diameter of 7.80m, which consisted of cast-iron segments (Moscow and Leningrad types, width of 0.75m, always eight pieces plus a key in each ring, USSR import) at both end parts of the tunnel. In the central part, the cladding consisted of reinforced concrete segments, probably already produced by a Czech manufacturer (Fig. 2).

There were significant leaks and even water flowing through the lining, especially in the parts of the tunnel passing through the mylonites on the Blansko side. Moisture caused significant corrosion of steel joints, and as a result of the frost, cracks appeared in the monolithic reinforced concrete parts of the tunnel lining at the same time.

2. TUNNEL RECONSTRUCTION DESIGN

2.1 Tunnel cross-section in the final design and DZSD stage

The tunnel reconstruction consisted, according to the design at the stage of the final design for building permit (SUDOP BRNO), in the demolition of the original segmental lining along the entire length of the tunnel, the enlargement of the finished circular profile from the original 7.80m to a

z původních 7,80 m na průměr 8,75 m s tím, že nové ostění bude dvouplášťové s mezilehlou uzavřenou izolací. Světlý profil tunelu se tak měl zvětšit z původních 45,2 m² na 53,56 m².

Na obr. 3 je znázorněn v DSP navržený příčný profil tunelu včetně líce stávajícího ostění (vnitřní kruhová čára). Tento kruhový profil s uzavřenou izolací byl navržen v celé délce tunelu (560 m) včetně přespaných portálových úseků.

Sklonové a směrové poměry tunelu mohly být změněny pouze minimálně, nejedná se o tunel nově budovaný, ale o přestavbu tunelu na stávající železniční trati, tzn. ve stejném místě a poloze. Rovněž maximální rychlost zůstává, resp. je zvětšena z původních 105 km/h na 110 km/h pro vozy s naklápacími skříněmi.

Zhotovitel ve spolupráci s projektantem a autorem dokumentace změny stavby před dokončením (DZSD, AMBERG Engineering Brno, a.s.) navrhl změnu příčného profilu tunelu (obr. 4) s ohledem na již známé okolnosti. Především se jednalo o (a) geologické podmínky částečně již známé z ražby původního tunelu mezi lety 1988 a 1992, (b) způsob technologie výstavby konvenčně raženého tunelu a (c) harmonogram pro přestavbu tunelu související s modernizací traťového úseku Adamov–Blansko.

Příčný profil podkovovitého tvaru bez spodní klenby byl navržen po téměř celé délce tunelu. Výjimku tvoří cca 10 % délky tunelu, kde je podkovovitý profil tunelu navržen se spodní klenbou, a to v oblasti mylonitů na blanenském portále P2.

Změnou příčného profilu tunelu z kruhového na podkovovitý se snížily kubatury vybouraného stávajícího ostění (část tubingů v počvě byla ponechána) a kubatury zvětšení profilu (výrub v hornině). Dále se značně snížila kubatura nově zabudovaného materiálu, což přineslo objednateli významnou finanční úsporu. Rovněž pohyb strojů v podkovovitém profilu tunelu je snazší než v raženém kruhovém profilu, kdy se počva tunelu po vybudování protiklenby musí dosypávat do určité výškové úrovně, aby se dala pojíždět mechanismy.

2.2 Realizační dokumentace stavby (RDS)

2.2.1 Příčné řezy raženého tunelu

Pro stanovení geometrie primárního ostění jsou určující vzorové příčné řezy raženého tunelu definované ve stupni „DZSD“ jako profil s patkami, profil s protiklenbou, a to jak v základním tvaru, tak i se záchrannými výklenky v každém druhém tunelovém bloku (každých 25 m). Minimální tloušťka definitivního ostění tunelu je 300 mm ve vrcholu horní klenby. Směrem k patě tunelu se tloušťka ostění zvětšuje. Tloušťka primárního ostění závisí na technologické třídě výrubu, tj. 150 mm a 250 mm.

2.2.2 Hydroizolace a odvodnění

Mezi primárním a sekundárním ostěním je navrženo hydroizolační souvrství v teoretické tloušťce 20 mm sestávající z geotextilie 500 g/m² (výjimečně 900 g/m²) a hydroizolační fólie tl. 2,1 mm. Jako materiál hydroizolace v tunelu byla použita fólie PVC-P Mapeplan TU WL 21 se zakončením u paty primárního ostění do prefabrikovaného prvku Sikaplan Drainage. Do něj byla uložena podélná perforovaná PVC trubka Ø 200 mm zasypaná kačírkem frakce 16/22 mm. Podélné odvodnění bylo příčně svedeno vždy u záchranného výklenku každého čtvrtého tunelového bloku (každých 50 m) z čistící šachty plnou PVC trubkou Ø 200 mm do původního ponechaného středového žlabu o rozměrech 250 × 300 mm. Odtud byla voda gravitačně odvedena směrem k adamovskému portálu P1. Výklenky musely být na požadavek objednatele odvodněny zvlášť rubovým drenážním potrubím Ø 160 mm. Potrubí kopírovalo půdorys výklenku a bylo zaústěno

diameter of 8.75m, with the fact that the new lining would be of the double-shell type, with closed intermediate waterproofing. The clear profile of the tunnel was thus to be increased from the original 45.2m² to 53.56m².

Fig. 3 shows the tunnel cross-section proposed in the final design, including the face of the existing lining (inner circular line). This circular profile with closed waterproofing was designed for the entire length of the tunnel (560m) including the false tunnel portal sections.

The gradient and directional conditions of the tunnel could only be changed minimally, it is not a case of a newly built tunnel, but a reconstruction of the tunnel on the existing railway line, i.e. in the same location and position. The maximum speed also remains, or is increased from the original 105km/h to 110km/h for trains with tilting bodies.

The contractor, in collaboration with the designer and the author of the final design for construction change before completion, Czech abbreviation DZSD (AMBERG Engineering Brno, a.s.), proposed a change in the tunnel cross-section (Fig. 4) with regard to the already known circumstances. These were primarily (a) geological conditions partially already known from the the original tunnel excavation between 1988 and 1992, (b) the construction technique method of the conventional tunnel excavation and (c) the schedule for the reconstruction of the tunnel related to the modernisation of the Adamov–Blansko track section.

A horseshoe-shaped cross-section without an invert was designed for the almost entire length of the tunnel. The exception is about 10% of the length of the tunnel, where the horseshoe profile of the tunnel is designed with an invert, namely in the area of mylonites at the Blansko portal P2.

By changing the tunnel cross-section from circular to horseshoe-shaped, the volumes of the broken-out existing lining were reduced (part of the segments at the bottom was left) and the volumes of the profile enlargement (excavation in the rock). Furthermore, the volume of the newly installed material was significantly reduced, which brought significant financial savings to the client. Also, the movement of machines in a horseshoe-shaped tunnel profile is easier than in a mined circular cross-section, where the tunnel bottom must be backfilled to a certain height level after the construction of the invert in order to allow for driving the mechanical equipment.

2.2 Construction final design

2.2.1 Mined tunnel cross-sections

To determine the geometry of the primary lining, the standard cross-sections of the mined tunnel defined in the DZSD stage as a profile with footings, a profile with an invert, both in the basic configuration and with safety recesses in every other tunnel block (every 25m) are decisive. The minimum thickness of the final lining of the tunnel is 300mm at the top of the upper vault. Towards the tunnel bottom, the lining thickness increases. The thickness of the primary lining, 150mm and 250mm, depends on the excavation support class.

2.2.2 Waterproofing and drainage

A waterproofing assembly with a theoretical thickness of 20mm, consisting of a geotextile 500g/m² (exceptionally 900g/m²) and a waterproofing membrane with a thickness of 2.1mm is designed. PVC-P Mapeplan TU WL 21 membrane was used as the waterproofing material in the tunnel, fixed at the foot of the primary lining in a pre-cast Sikaplan Drainage element. A longitudinal perforated PVC pipe ø 160mm was placed in

do hlavní podélné drenáže za výklenkem ve směru podélného spádu drenáže.

Hydroizolační fólie byla v podélném směru ukončena ve vzdálenosti 0,5 m od dilatační spáry mezi falešným primárním ostěním a portálovým pásem. Pod okraj fólie byla ještě vložena mikroporézní guma EPDM o rozměrech 50 × 10 mm a následně byl tento okraj fólie přikotven nerezovým páskem 50 × 3 mm.

V místě styků bloků sekundárního ostění byla hydroizolační fólie zesílena pruhem stejné fólie o šířce 0,5 m. Mezi portálový blok a první regulérní blok byl vložen vnitřní spárový pás pro dilatační spáry doplněný o extrudovaný polystyren tl. 20 mm ve spáře, zatmelený protipožárním trvale pružným tmelem.

Hloubené části tunelu jsou na vnějších stranách tunelového ostění na obou koncích tunelu odvodněny do perforovaných trubek Ø 200 mm svedených do šachet umístěných před portály.

2.2.3 Vystrojovací třídy

Pro přestavbu tunelu byly navrženy čtyři vystrojovací třídy, tj. VT III až VI, kdy nejtěžší vystrojovací třída VT VI byla navržena v oblasti mylonitů se spodní klenbou, a to v délce 50 m na severní straně masivu blanenského portálu P2. Naopak lehčí vystrojovací třídy VT III a IV byly navrženy a aplikovány ze strany adamovského portálu P1 v oblastech výskytu pevného granodioritu.

Délky záběrů v jednotlivých třídách byly dány počtem ubouraných tubingů, a to v rozmezí 1–3 prstence, tj. 0,75 m až 2,25 m pro vystrojovací třídu VT VI až VT III.

Jako základní prvky vystrojení tunelu byly použity:

- stříkaný beton C 20/25 obor J2 tloušťky 150 mm a 250 mm;
- KARI síť 6/150 × 6/150;
- HUS (hydraulicky upínané svorníky) nebo samozávrtné tyče typu R délky 4,0 m až 8,0 m;
- ocelové svařované příhradové nosníky BTX výšky 100 mm a 150 mm;
- injektované samozávrtné jehly R32 v délkách 4 m a 6 m.

Prognóza vystrojovacích tříd uvedených v RDS se shodovala naprosto přesně se skutečností pro vystrojovací třídy VT III a VI v oblasti zdravých granodioritů na jižní straně masivu a mylonitů na severní straně masivu. Délky úseků ve VT IV a V se lišily oproti předpokladu v rámci prvních desítek procent.

it, backfilled with 16/22mm fraction pea gravel. Longitudinal drainage was diverted transversely always at the safety recess in every fourth tunnel block (every 50m) from the cleaning manhole through a full PVC pipe ø 200mm into the original, left-in-place central trough with dimensions of 250×300mm. From there, the water was gravity-drained towards the Adamov portal P1. At the client's request, the recesses had to be drained separately by a reverse drainage pipe ø 160mm. The pipe copied the ground plan of the recess and was connected to the main longitudinal drainage behind the recess in the direction of the longitudinal gradient of the drainage.

The waterproofing membrane was terminated in the longitudinal direction at a distance of 0.5m from the expansion joint between the false primary lining and the portal block. A microporous EPDM rubber strip 50×10mm was inserted under the edge of the membrane, and then this edge of the membrane was anchored with a 50×3mm stainless steel strip.

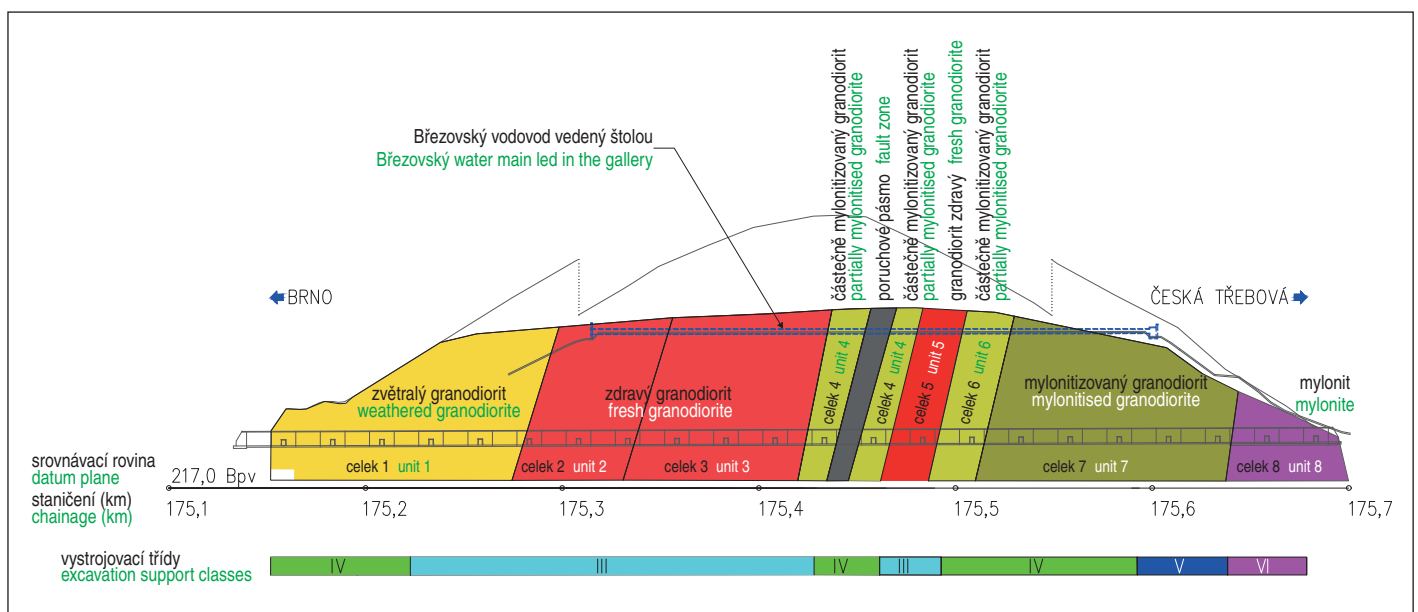
At the contacts of the blocks of the secondary lining, the waterproofing membrane was reinforced with a 0.5m wide strip of the same membrane. An internal waterstop for expansion joints was inserted between the portal block and the first regular block. It was supplemented with 20mm thick extruded polystyrene in the joint, and sealed with a fire-resistant, non-setting compound.

The cut-and-cover parts of the tunnel are drained on the external surfaces of the tunnel lining at both ends of the tunnel into 200mm-diameter perforated pipes connected to shafts located in front of the portals.

2.2.3 Excavation support classes

For the reconstruction of the tunnel, four excavation support classes were proposed, i.e. VT III to VI, where the heaviest support class VT VI with an invert was designed for the area of mylonites, at a length of 50m on the northern side of the massif, at the Blansko portal P2. On the contrary, the lighter support classes VT III and IV were designed and applied to the Adamov portal P1, in the areas of the occurrence of hard granodiorite.

The lengths of the excavation rounds in the individual support classes were given by the number of the segments removed, within the scope of 1–3 rings, i.e. 0.75m to 2.25m for the support classes VT VI to VT III.



Obr. 5 Geologický profil, kvazi-homogenní celky
Fig. 5 Geological cross-section, quasi-homogeneous units

zdroj SONDEO source SONDEO

Rozsah použití jednotlivých vstrojovacích tříd nebo prvků v rámci vstrojovací třídy byl závislý na geotechnické prognóze stability výrubu a výsledcích geotechnických měření na stavbě. Vstrojovací třídy bylo možné po dohodě s odpovědnými zástupci zadavatele, projektanta a zhotovitele upravit podle reálně zastížených geotechnických podmínek při ražbě, např. úpravou délky záberů, množství a pozice radiálních svorníků a jehel.

3. GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

3.1 Geotechnické sledování v průběhu výstavby

Tunel č. 8/2 byl v letech 1988 až 1992 vyražen převážně v granodioritech brněnského masivu s různým stupněm zvětrání a tektonického porušení. Přitoky podzemní vody přírodního původu byly většinou nízké, granodiority byly z velké části suché, případně vlhké na puklinách, pouze místy se vyskytovaly úkapy, případně lokální plošné zavlhnutí.

Z geotechnického hlediska byly podmínky přeražby kromě nadvýlomu v TM 459 a úseků s mylonity relativně bezproblémové. Mylonity vytvářely prostředí geologicky velmi nepříznivé. Podzemní voda přírodního původu se omezila pouze na poruchová pásma a na puklinové systémy převážně ve formě lokálního zavlhnutí líce výrubu.

Na základě skutečně zjištěných inženýrskogeologických poměrů byla ražená část tunelu rozdělena na osm kvazihomogenních celků, které představují úseky tunelu, kde mají horniny podobné geotechnické vlastnosti (obr. 5).

4. PRŮBĚH VÝSTAVBY TUNELU

4.1 Časový sled činností

Na přestavbu tunelu včetně zařízení a vyklizení staveniště bylo vyhrazeno časové období mezi zářím 2021 a prosincem 2022. To bylo období, kdy byl vyloučen provoz na koleji č. 2 (tab. 1). Kolej č. 1 vedená tunelem č. 8/1 byla vyloučena z provozu až od poloviny prosince 2021. Do té doby probíhaly práce na tunelu č. 8/2

The following basic elements of the tunnel excavation support were used:

- Shotcrete C 20/25, J2 curve, 150mm and 250mm thick;
- KARI mesh 6/150×6/150;
- HUS (hydraulically expanded rockbolts) or R-type self-drilling rockbolts 4.0m to 8.0m long;
- BXT steel welded lattice girders 100mm and 150mm high;
- Grouted self-drilling spiles R32, 4m and 6m long.

The prediction of the excavation support classes listed in the final design coincided exactly with the reality for support classes VT III and VI in the area of fresh granodiorites on the southern side of the massif and mylonites on the northern side of the massif. The lengths of the sections in classes IV and V differed from the assumption within the first tens of percent.

The extent of the use of individual support classes or elements within the excavation support class was dependent on the geotechnical forecast of the excavation stability and the results of geotechnical measurements at the construction site. After agreement with the responsible representatives of the client, the designer and the contractor, the support classes could be adjusted according to the geotechnical conditions actually encountered during excavation, e.g. by adjusting the length of excavation rounds, the number and position of radial rockbolts and spiles.

3. GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

3.1 Geotechnical monitoring during the course of construction work

Tunnel No. 8/2 was excavated between 1988 and 1992 mainly in granodiorites of the Brno massif with varying stages of weathering and faulting. Groundwater inflows of natural origin were mostly low, the granodiorites were mostly dry, or wet on cracks; only in places there were drips, or local surface wetting.

From a geotechnical point of view, the excavation conditions were relatively problem-free except for the overbreak in tunnel chainage TM 459 and the sections with mylonites. Mylonites created a

Tab. 1 Časový přehled činností

Tab. 1 Time-related survey of activities

zdroj autor source author

Rok/činnost Year/activity	2020	2021												2022												
Měsíc Month	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vypsání výběrového řízení Invitation to tender																										
Podpis smlouvy Signing the contract																										
Výluka koleje č. 2 Closing track No. 2 to traffic																										
Ražba a realizace primárního ostění Excavation and construction of primary lining																										
Výluka koleje č. 1 Closing track No. 1 to traffic																										
Povolení trhacích prací Blasting permit																										
Realizace sekundárního ostění Construction of secondary lining																										
Vybavení tunelu Fitting out of tunnel																										
Dokončení stavby Completion of construction																										
Zahájení provozu Commencement of operation																										

za provozu koleje č. 1 se sníženou rychlostí projíždějících vlaků. V polovině září roku 2021 bylo započato s pracemi na vybudování zařízení staveniště včetně přístupových cest k oběma portálům stávajícího tunelu. V říjnu 2021 se začaly bourat betonové monolitické portály tunelu P1 a P2 včetně částí tunelu z litinových tubingů. Koncem října byl vybudován vysunutý tubus z falešného primárního ostění ve venkovní části adamovského portálu v délce cca 13 m, který později sloužil jako kontrabednění pro betonáž sekundárního ostění. Práce na ražbách započaly 6. listopadu 2021 směrem od adamovského portálu P1 dovrchně a byly ukončeny úsekem s protiklenbou na blanenském portálu P2 dne 26. srpna 2022.

Betonáž sekundárního ostění byla zahájena betonáží základových pásů dne 30. dubna 2022 ze strany adamovského portálu P1. S odstupem dvou měsíců, dne 21. června 2022, byla zahájena betonáž horní klenby rovněž ze strany adamovského portálu. Betonáž klenby byla ukončena na straně blanenského portálu P2 dne 10. října 2022.

Po přesunu bednicí formy zpět k portálu P1 (formu nebylo možné z prostorových důvodů demontovat u portálu P2) byla provedena pochozí vrstva služebních chodníků včetně osazení poklopů na středové i bočních drenážích a nátěr bezpečnostního značení v tunelu. Veškeré stavební práce byly ukončeny 5. listopadu 2022 a tunel byl předán zhotoviteli železničního svršku. Zkušební provoz na obou kolejích byl zahájen 14. prosince 2022.

4.2 Ražba a primární ostění

Stávající tunel byl přerážen, tzn. zvětšován, přičemž na ražbu a primární ostění byly aplikovány principy Nové rakouské tunelovací metody. Jelikož se jednalo o přestavbu stávajícího tunelu s ostěním provedeným z betonových a litinových tubingů, musely být tyto prvky nejprve demontovány. Následně se přistoupilo k samotnému zvětšování profilu po obvodu výrubu, který byl tvořen převážně cihelnou zakládkou prolitou cementovou zálivkou (případně v kombinaci s bentonitem) a horninovým masivem (obr. 6).

V předstihu před samotným bouráním tubingů se ve stávajícím ostění provedly téměř v celé délce tunelu po obou stranách dva podélné řezy v místech budoucích pat projektovaného nového sekundárního ostění. Byly zvoleny tak, aby se horní část ostění nad řezem mohla snadněji vybourat a část pod řezem, která de facto představovala spodní klenbu, se nepoškozená ponechala včetně středového odvodňovacího žlabu. Podélné řezy byly vedeny pod úhlem cca 45°, na hloubku ostění 0,5 m a v délce dvakrát cca



zdroj T. Just source T. Just

Obr. 6 Původní zakládká z cihel za montovaným ostěním ze žb. tubingů
Fig. 6 Original brick packing behind reinforced concrete segmental lining

geologically very unfavourable environment. Groundwater of natural origin was limited only to fault zones and fissure systems mainly in the form of local wetting of the internal face of the excavation.

Based on the actual engineering geological conditions, the mined part of the tunnel was divided into eight quasi-homogeneous units, which represent sections of the tunnel where the rocks have similar geotechnical properties (Fig. 5).

4. TUNNEL CONSTRUCTION PROCESS

4.1 Timing sequence of operations

A period of time between September 2021 and December 2022 has been designated for the reconstruction of the tunnel, including equipment and evacuation of the construction site. This was the period when track No. 2 was excluded from operation (Table 1). Until then, work was being carried out on tunnel No. 8/2 during the operation of track No. 1, with a lowered speed of passing the trains. In mid-September 2021, work began on the development of construction site facilities, including access roads to both portals of the existing tunnel. In October 2021, the demolition of monolithic concrete portals of tunnels P1 and P2, including parts of the tunnel lined with cast iron segments, began. At the end of October, a protruding tube of false primary lining was constructed in the approximately 13m long external part of the Adamov portal, which later served as counter-formwork for the concreting of the secondary lining. Excavation work began on November 6, 2021, uphill from the Adamov portal P1, and was completed by the section with an invert at the Blansko portal P2 on August 26, 2022.

The concreting of the secondary lining started on April 30, 2022 by the concreting of the strip foundation from the Adamov portal P1. Two months later, on June 21, 2022, the concreting of the upper vault also started from the Adamov portal side. The concreting of the vault was completed on the side of the Blansko portal P2 on October 10, 2022.

After moving the formwork back to the P1 portal (the formwork could not be dismantled at the P2 portal due to space-related reasons), the service walkway layer capable of walking traffic was carried out, including the installation of covers on the central and side drains and the painting of safety markings in the tunnel. All construction work was completed on November 5, 2022 and the tunnel was handed over to the contractor for the installation of trackwork. Trial operation on both tracks was started on December 14, 2022.

4.2 Excavation and primary lining

The existing tunnel was re-excavated, i.e. enlarged, while the principles of the New Austrian Tunnelling Method were applied to the excavation and primary lining. Since it was a reconstruction of an existing tunnel lined with concrete and cast iron segments, these elements had to be dismantled first. Subsequently, the work proceeded by enlarging the cross-section around the excavation perimeter, which consisted mainly of a brick packing between the rock massif, filled with cement grout (possibly in combination with bentonite) (Fig. 6).

In advance of the actual demolition of the lining segments, two longitudinal cuts were carried out in the existing lining along almost the entire length of the tunnel on both sides in the places of the toes of the future new secondary lining. The cuts were chosen so that the upper part of the lining above the cut could be

500 m. Ve zbylém úseku dlouhém cca 60 m (z celkových 560 m) se původní tubingové ostění vybouralo kompletně a bylo nahrazeno novým sekundárním monolitickým ostěním s novou spodní klenbou.

Přeražba započala začátkem listopadu 2021, přičemž povolení k trhacím pracím bylo vydáno až počátkem ledna následujícího roku. Znamenalo to, že první dva měsíce ražeb (provedeno v nich bylo cca 95 m) byly odkázány na mechanické, resp. strojní rozpojování okolí výrubu hydraulickým kladivem. Touto technologií bylo dosahováno výrazně nižších výkonů oproti následnému rozpojování za pomoci trhacích prací. Následujících cca 350 m (po TM 455) byl tunel přerážen již za pomoci trhacích prací, z čehož cca 300 m ve vestrojovací třídě VT III a cca 57 m ve vestrojovací třídě VT IV. Od TM 455 až do konce tunelu byl tunel přerážen opět pouze mechanicky tunelbagrem, a to zejména kvůli dvěma aspektům: (a) minimalizaci seismických účinků vůči Březovskému vodovodu nad tunelem, (b) přechodu do pásma mylonitizovaných granodioritů (vestrojovací třída VT V) a samotných mylonitů (cca 55 m ve vestrojovací třídě VT VI). Pro přeražbu v mylonitech nebylo nutné trhací práce používat.

Z hlediska bezpečnosti ražeb lze konstatovat, že jediným rizikovým okamžikem byl časový úsek nezabezpečeného, otevřeného výrubu. Tím, že se tunel „pouze“ přerážel, nebylo nutné se zabývat stabilitou čelby, ale pouze stabilitou zakládky a minimální plochy rostlé horniny mezi původním výrubem a současným zvětšeným profilem. Komplikací, která se během přeražby projevovala, byly nadvýlomy nekvalitně vyplněné při původní ražbě z let 1988 až 1992. Jedna taková výplň byla zastižena 17. května 2022 v TM 458, kdy došlo k porušení a vytlačení levého boku primárního

demolished more easily, and the part below the cut, which de facto represented the invert, remained undamaged, including the central drainage trough. The longitudinal cuts were carried out at an angle of ca 45°, to a depth of the lining thickness of 0.5m and at a length of twice ca 500m. In the remaining section, ca 60m long (out of the total length of 560m), the original segmental lining was completely demolished and replaced by a new secondary monolithic lining with a new invert.

The re-excavation started at the beginning of November 2021, while the permit for blasting operations was not issued until the beginning of January of the following year. It meant that the first two months of excavation (ca 95m were carried out) were dependent on mechanical breaking of rock surrounding the excavation with a hydraulic breaker. With this equipment, significantly lower outputs were achieved compared to subsequent breaking using blasting. The following ca 350m (beyond TM 455) the tunnel was re-excavated using blasting. The length of ca 300m of that length was excavated in excavation support class VT III and ca 57m in the support class VT IV. From TM 455 to the tunnel end, the tunnel was re-excavated again only mechanically using a tunnel excavator, mainly due to two aspects: (a) minimisation of seismic effects on the Březovský water main above the tunnel, (b) the transition to the zone of mylonitised granodiorites excavation support class VT V) and mylonites themselves (ca 55m in support class VT VI). Blasting was not necessary for the re-excavation in the mylonites.

From the point of view of excavation safety, it can be stated that the only risky moment was the period of dangerous, unsupported, open excavation. Due to the „only“ re-excavation of the tunnel, it was not necessary to deal with the stability of the excavation face, but only with the stability of the packing and the minimal area of the natural rock between the original excavation and the current enlarged profile. The complication that manifested itself during the re-excavation consisted in the overbreaks poorly backfilled during the original excavation between 1988 to 1992. One of such backfills was encountered on May 17, 2022 in TM 458, when the left-hand side of the primary lining failed and was pressed about 400mm into the tunnel, including the falling of about 30m³ of rubble (see Fig. 7).

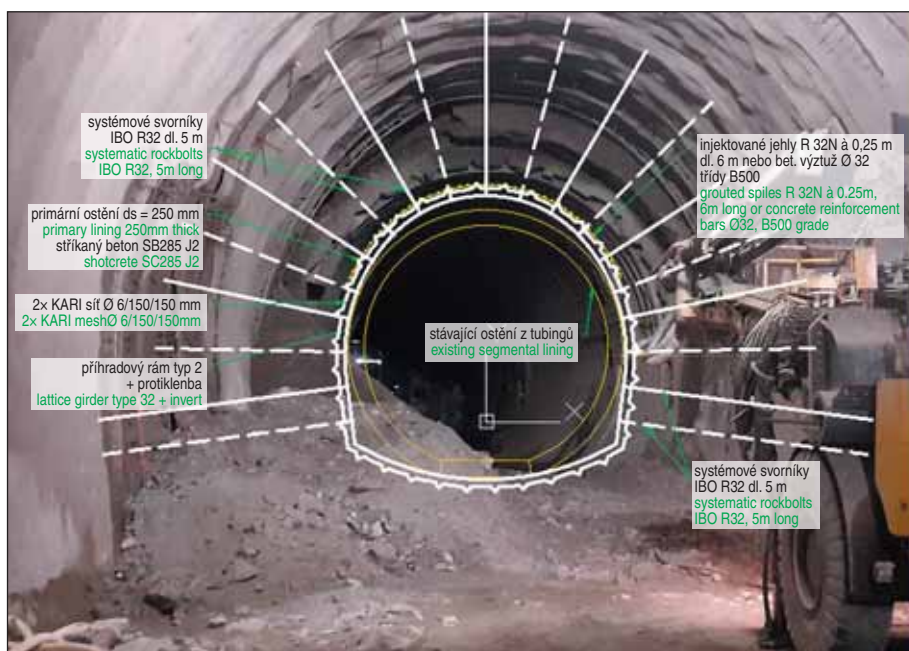
The already completed primary lining had to be demolished and replaced with a new one in a length of 10m, only on the left side and in the crown of the tunnel. The right-hand side of the primary lining was only reinforced by radial rockbolts. The left-hand side was completely reconstructed by connecting new BTX lattice girders in the top of the vault to the part of the frames left in place on the right side. This gave rise to a new primary lining of the entire left half of the profile, including tying to the rock face.

Subsequent procedures were already taking place in the higher excavation support class VT V, in which self-drilling IBO rockbolts replaced hydraulically expanded rockbolts of the same length of 4m. The two tiers of bolts at the bottom of the excavation were again made up of 6m long IBO rods. Spiles were also installed in VT V, initially 4m long with a shorter excavation round, then 6m long with a longer round. The last 50m passed to the support class VT VI with the excavation round 0.75m long, with spiles 6m long, radial rockbolts 6m long, 8m long at the bottom. Here, the primary lining was carried out with a thickness of 250mm and with closing the invert after 6m (Fig. 8). Using this procedure, the tunnel was completed without other complications.

The average daily advance rates for re-excavation and installation of primary lining in individual support classes fluctuated around:



Obr. 7 Nadvýlom 17. 05. 2022
Fig. 7 Overbreak 17. 05. 2022



Obr. 8 Vystrojovací třída VT VI v oblasti mylonitů

Fig. 8 Excavation support class VT VI in the area of mylonites

ostění o cca 400 mm dovnitř tunelu včetně vysypání cca 30 m³ sutě (viz obr. 7).

Již hotové primární ostění bylo nutno vybourat a nahradit novým v délce 10 m, a to pouze na levé straně a v přístropí. Pravá strana primárního ostění byla pouze posílena radiálními svorníky. Levá strana byla kompletně přebudovaná napojením nových příhradových rámců BTX ve vrchlíku klenby na ponechané části rámců na pravé straně. Tím vzniklo nové primární ostění celé levé poloviny profilu včetně příkotvení.

Následné postupy už probíhaly ve vyšší vystrojovací třídě VT V, ve které samozávrtné IBO tyče nahradily hydraulicky upínané svorníky stejné délky 4 m. Spodní dvě řady svorníků u paty výrubu tvořily opět IBO tyče délky 6 m. Taktéž byly osazeny jehly ve VT V, zpočátku délky 4 m s kratším záběrem, posléze délky 6 m s delším záběrem. Posledních 50 m připadlo vystrojovací třídě VT VI se záběrem 0,75 m, s jehlami délky 6 m, radiálními svorníky délky 6 m a v patě 8 m. Primární ostění zde bylo provedeno v tloušťce 250 mm a s uzavíráním spodní klenby po 6 m (obr. 8). Tímto postupem byl tunel dokončen bez dalších komplikací.

Průměrné denní postupy pro přeražbu a instalaci primárního ostění v jednotlivých vystrojovacích třídách se pohybovaly následovně: 0,90 m/den ve VT VI, 1,15 m/den ve VT V, 1,75 m/den ve VT IV a 2,25 m/den ve VT III.

4.3 Březovský vodovod

Březovský vodovod je jedním ze tří zdrojů pitné vody obsluhujících město Brno. Byl vybudovaný v roce 1913 a křížuje půdorysně trasu tunelu od staničení TM 480 až po TM 505 ve výšce cca 25 m nad vrcholem klenby tunelu. Dne 13. června 2022 došlo při povrchu svahu v blízkosti blanenského portálu P2 k havárii tohoto vodovodu. Litinové potrubí o průměru 600 mm chrlilo na svahu u portálu P2 asi dvě hodiny pitnou vodu a ta zčásti pronikla i do tunelu (obr. 9). Z větší části našťestí tekla voda na most a z něj do řeky Svitavy. Jelikož se jednalo o mimořádnou událost ve smyslu báňských předpisů, byly informovány a na místo povolány zásahové složky podle pohotovostní části havarijního plánu.

Tunelové ostění bylo zkontrolováno za účasti závodního, inspektora báňského úřadu i projektanta a bylo konstatováno, že je možno

0.90m/day in VT VI, 1.15m/day in VT V, 1.75m/day in VT IV and 2.25m/day in VT III.

4.3 Březovský water main

The Březovský water main is one of the three sources of drinking water serving the city of Brno. It was built in 1913 and crosses the tunnel route from chainage TM 480 to TM 505 at a height of ca 25m above the top of the tunnel vault. On June 13, 2022, an accident of this water main occurred at the surface of the slope near the Blansko portal P2. Potable water flowed from the cast-iron pipe with a diameter of 600mm on the slope near the P2 portal for about two hours, and some of it also penetrated into the tunnel (Fig. 9). Fortunately, the major part of the water flowed to the bridge and from it to the Svitava river. Since it was an extraordinary event in the sense of the mining regulations, emergency services were informed and called to the scene according to the emergency part of the emergency plan.

The tunnel lining was checked with the participation of the mine manager, the inspector of the Czech Bureau of Mining and the designer, and it was stated that the continuation of the re-excavation was possible. Before, it was necessary to clean the tunnel floor from mud in about half the tunnel length, for 24 hours. The repair of the water main was taken care of by its operator. It was carried out on the surface independently of the underground operations. Up until the time of the accident, water had constantly flowed through the original lining in certain tunnel sections in a constant amount throughout the year. After the repair of the water main, until the end of the re-excavation, these water leaks through the existing lining gradually stopped.

4.4 Anchoring of the slope above the P2 portal

The slope above the Blansko portal P2, made up of loamy-rock sediments with a content of clay fraction, exhibited slope deformations already during the construction of the tunnel between 1988 and 1992. It is above this slope where the already mentioned Březovský water main runs. Even the builders of the tunnel at the time encountered the instability of the rock massif at



Obr. 9 Zatopený tunel po havárii Březovského vodovodu

Fig. 9 Water-glogged tunnel bottom after Březovský water main accident

pokračovat v přeražbách. Předtím bylo nutné 24 hodin čistit počvu tunelu od bláta zhruba v polovině délky tunelu. Oprava vodovodu byla zajištěna jeho provozovatelem a probíhala na povrchu nezávisle na pracích v podzemí. Do okamžiku havárie přes původní ostění v určitých úsecích tunelu neustále protékala voda v konstantním množství, a to během celého roku. Po opravě vodovodu až do konce přeražeb tyto průsaky vody přes stávající ostění postupně ustaly.

4.4 Zakotvení svahu nad portálem P2

Svah nad blanenským portálem P2, tvořený hlinitokamenitými sedimenty s obsahem jílové frakce, vykazoval již během budování tunelu v letech 1988 až 1992 svahové deformace. Právě nad tímto svahem vede již zmíněný Březovský vodovod. O nestabilitě horninového masivu u blanenského portálu v oblasti porušených mylonitů se přesvědčili i tehdejší stavitelé tunelu. Během ražby průzkumné štolky ze strany blanenského portálu ji po několika desítkách metrů po závalu museli obejít novou štolou a napojit se do plánované trasy tunelu až cca 80 m od blanenského portálu. Projektant RDS chtěl předejít možným rizikům a komplikacím, souvisejícím s přeražbou tunelu a případnou aktivací svahových nestabilit, navrhl proto dodatečné zajištění svahu proti případnému sesuvu lanovými kotvami. Byly navrženy celkem dvě trvalé dvoupramenové kotvy o délkách 45 m s kořeny dlouhými 15 m, upnutými v pevnější hornině mimo porušené mylonity. Kotvy byly upnuty v hlavách přes nový betonový kotevní práh o šířce 8,6 m, výšce 3,5 m a tloušťce 1,0 m (obr. 10) pevnostní třídy betonu C30/37. Kotvy byly předepnuty silou pouze několika tun (20 kN) s tím, že by se v případě aktivace sesuvu samy dopnuly. Před konečným upnutím hlav byly testovány s postupným napínáním po dobu 60 min až na hodnotu zkušební síly cca 200 kN. Kotevní práh byl proveden jako spřažený se stávajícím betonovým prahem vybudovaným mezi lety 1988 a 1992 jako opatření proti vzniku sesuvu. Součástí vybudování kotevního prahu byla také dočasná nájezdová rampa o šířce 4,0 m. Ta vedla v extrémně prudkém svahu nad portál tunelu a byla ukončená pracovní plochou o rozměrech 7,0 m × 10,0 m ve výšce cca 6 m nad portálem tunelu.



Obr. 10 Kotvený železobetonový práh nad blanenským portálem P2
Fig. 10 Anchored reinforced concrete block above Blansko portal P2

the Blansko portal in the area of fractured mylonites. During the excavation of the exploratory gallery from the Blansko portal side, after a few tens of meters beyond the collapse, it was necessary to bypass it by a new gallery and connect the gallery to the planned tunnel route ca 80m from the Blansko portal. The author of the final design wanted to prevent possible risks and complications related to the tunnel excavation and the possible activation of slope instabilities, so he proposed additional protection of the slope against possible landslides with cable anchors. A total of two permanent 45m long double-strand anchors with 15m long roots, clamped in harder rock outside the fractured mylonites, were designed. The anchors were clamped in the heads through a new concrete anchoring plinth 8.6m wide, 3.5m high and 1.0m thick (Fig. 10), concrete strength grade C30/37. The anchors were pre-tensioned with a force of only a few tonnes (20kN), with the understanding that they would additionally tension themselves in the event of a landslide activation.

Before the final clamping of the heads, they were tested with gradual tensioning for 60min, with the testing force value up to ca 200kN. The anchoring plinth was carried out as a composite structure locked together with the existing concrete plinth built between 1988 and 1992 as a measure against origination of landslides. A temporary 4.0m wide on-ramp was also part of the anchoring plinth construction. This ran on an extremely steep slope above the tunnel portal and was terminated by a working area with dimensions of 7.0×10.0m at a level of ca 6m above the tunnel portal.

4.5 Secondary lining

The construction completion deadline was firmly set by closing of the line for traffic to December, 14, 2022. Due to initial problems on the construction site, it was necessary to start concreting of the



Obr. 11 Pojízdné ocelové bednění pro betonáž horní klenby
Fig. 11 Mobile steel traveller formwork for concreting the upper vault



Obr. 12 Příprava pro armování a betonáž základového pásu
Fig. 12 Preparation for installation of reinforcement and concreting of a foundation strip

4.5 Sekundární ostění

Termín dokončení stavby byl pevně stanoven výlukou provozu trati na 14. prosince 2022. Kvůli počátečním problémům na stavbě bylo nutné započít s betonáží sekundárního ostění dříve, než mohlo být dokončeno primární ostění. Betonáž sekundárního ostění probíhala ve stejném směru jako ražba, tedy od adamovského k blanenskému portálu. Za souběhu prací byly nejprve prohlubovány základové spáry pro armování a betonáž základových pásů. Kvůli zachování dostatečné šířky dopravní obslužné cesty pro betonáže a současnou ražbu se základové pásy betonovaly střídavě na jedné nebo druhé straně tunelu. V době nasazení pojízdného ocelového bednění od firmy Östu Stettin (obr. 11) pro první bloky horní klenby již průjezd tunelem ze strany adamovského portálu nebyl možný.

Odvoz rubaniny a betonové suti včetně zásobování materiálem proto byly realizovány ze strany blanenského portálu, a to i za cenu stísněných prostor a zajišťování průjezdu jiným stavebním firmám pracujícím na tomtéž traťovém úseku. Práce na přeražbách a betonáži horní klenby, tedy na dvou oddělených samostatných pracovištích, trvaly dva měsíce.

Projektantem RDS byl tunel rozdělen na celkem 46 bloků definitivního ostění se standardní délkou bloku 12,5 m (bloky 1 až 44) vyjma bloků portálových (P1 a P2) s délkami 5,3 m a 5,5 m. Celkem bylo po délce tunelu navrženo 21 párů vstřícně umístěných výklenků ve vzájemných vzdálenostech 25 m. Betony horní klenby, základových pásů a protiklenby bloků tunelu P1, 1, 44 a P2 byly navrženy z vodostavebního betonu odolného proti průsakům C 30/37 se stupni vlivu prostředí XC4, XA1, XF1. Ostatní betony klenby, základových pásů a protiklenby bloků č. 2–43 byly navrženy v pevnostní třídě C 30/37 se stupni

secondary lining before the primary lining could be completed. The concreting of the secondary lining proceeded in the same direction as the excavation, i.e. from the Adamov portal toward the Blansko portal. With the work operations proceeding simultaneously, the base levels were first deepened for placing reinforcement and concreting of the foundation strips. In order to maintain a sufficient width of the transport service way for concreting and simultaneous excavation, the foundation strips were concreted alternately on one side of the tunnel or the other. When the mobile steel traveller formwork manufactured by the company of Östu Stettin (Fig. 11) was installed for the first blocks of the upper vault, passage through the tunnel from the Adamov portal was no longer possible.

The removal of muck and concrete debris, including the supply of material, was therefore carried out from the Blansko portal side, even at the cost of cramped spaces and providing passage for other construction companies working on the same track section. The work on the re-excavation and concreting of the upper vault, i.e. at two separate workplaces, took two months.

The author of the final design divided the tunnel into a total of 46 blocks of final lining with a standard block length of 12.5m (blocks 1 to 44), with the exception of portal blocks (P1 and P2) with the lengths of 5.3m and 5.5m. A total of 21 pairs of recesses were designed along the tunnel length, to be directly opposite each other at the spacing of 25m. The concrete of the upper vault, foundation strips and inverts of the tunnel blocks P1, 1, 44 and P2 were designed to be from seepage-resistant hydraulic construction concrete C 30/37 with the stages of environmental influence XC4, XA1, XF1. The other concrete of the vault, foundation strips and invert of blocks No. 2–43 was designed in strength grade C 30/37 with environmental influence stages XC3, XA1, XF1. The secondary lining of the upper vault was designed unreinforced in almost entire tunnel length of 560m. The two blocks of the upper vault on the Adamov portal side and five blocks of the upper and lower vault on the Blansko portal side in the area of fractured mylonites were exceptions. The vault of the secondary



Obr. 13 Armovaný úsek horní klenby s hydroizolací
Fig. 13 Reinforced concrete section of the upper vault with waterproofing



zdroj autor source author

Obr. 14 Adamovský portál P1 po přestavbě, prosinec 2022

Fig. 14 Adamov portal P1 after reconstruction, December 2022

vlivu prostředí XC3, XA1, XF1. Sekundární ostění horní klenby bylo navrženo nevyztužené v téměř celé délce tunelu 560 m. Výjimkou byly dva bloky horní klenby ze strany adamovského portálu a pět bloků horní a spodní klenby na straně blanenského portálu v oblasti porušených mylonitů. Klenba sekundárního ostění vyztužených pásů je vyztužena pro omezení vzniku trhlin. Základové pásy a výklenky byly armovány vždy.

Výkopy pro základové pásy a uložení podkladního betonu třídy C 12/15 X0 se prováděly v předstihu cca 1,5 měsíce před samotným vázáním armatury a betonáží základových pásů. Zahájení výkopů pro základové pásy započalo již v polovině dubna 2022 ze strany adamovského portálu. Pro podélný drenážní systém byly použity prefabrikované PVC dílce SikaDrainage, které se pokládaly na vyspádaný podkladní beton. Ty byly ukotveny do správné pozice proti posunutí a následně do nich byly osazeny perforované PVC drenážní trubky Ø 200 mm zasypané posléze kačírkem frakce 16/22 mm. Boční bednění pro betonáž základových pásů tvořily z jedné strany šikmina vytvořená řezem v tubincích původního ostění tunelu v kombinaci se svislými bednicími dílci od firmy PERI. Z druhé strany tvořila bednění svislá stěna plastového prefabrikovaného dílce. Do takto připraveného prostoru se vkládaly armokoše, kabelové chráničky a beton pro základové pásy (obr. 12).

Hmotnost jednoho armokoše pro základové pásy se pohybovala mezi cca 1,9 t až 2,5 t podle typu bloku bez/s výklenkem. Hmotnost vázané výztuže spodní klenby činila kolem 8 t na 1 blok.

Profílce a izolace horní klenby probíhaly v předstihu pouze několika bloků před betonáží horní klenby až na vyztužené bloky horní klenby, kterých bylo v celkovém počtu pouze 2+5 bloků (obr. 13).

Výztuž horní klenby byla navržena pro portálové i vnitřní tunelové bloky samonosná z příhradových ráámů doplněných na vnitřním a vnějším líci o KARI síť a volnou doplňkovou výztuž. Hmotnost armatury horní klenby bloků (P1 a 1) na adamovském portále v oblasti pevných granodioritů byla cca 5 t, resp. 7 t na 1 blok. Na blanenském portále činila hmotnost armatury horní klenby pro bloky 41 až 44 cca 12 t na 1 blok. V době betonáže prvního bloku horní klenby dne 21. června 2022 byly základové pásy vybetonovány zhruba do poloviny délky tunelu. Betonáže dalších bloků horní klenby pokračovaly téměř pravidelně v cyklu dvou dní až do ukončení prací. Pro betonáž horní klenby bylo klíčové

lining of the reinforced blocks is reinforced so that the occurrence of fissures is limited. Foundation strips and niches were always reinforced.

The excavation for the foundation strips and placement of the C 12/15 X0 grade blinding concrete was carried out ca 1.5 months in advance of the actual tying-up of the reinforcement and concreting of the foundation strips. The excavation for the foundation strips already started in mid-April 2022 from the Adamov portal. Precast SikaDrainage PVC parts, placed on the sloped blinding concrete, were used for the longitudinal drainage system. They were anchored in the correct position preventing displacement, and then perforated PVC drainage pipes Ø 200mm were installed in them. Then they were covered with 16/22mm-fraction pea gravel. The side formwork for the concreting of the foundation strips was created on one side by a skew surface of the cutting in the original tunnel lining segments in combination with vertical PERI formwork parts. On the other side, the formwork was created by a vertical wall of plastic prefabricated part. Reinforcement cages, cable protection pipes and concrete for the foundation strips were placed into the space prepared in this way (Fig. 12).

The weight of one reinforcement cage for the foundation strips varied between ca 1.9t and 2.5t, depending on the type of the block without/with a recess. The weight of the tied-up reinforcement of the invert amounted to ca 8t per 1 block.

The profiling and installation of waterproofing of the upper vault were carried out in advance of only a few blocks before the concreting of the upper vault, except for the reinforced blocks of the upper vault, of which there were only 2+5 blocks in total number (Fig. 13).

The self-supporting reinforcement consisting of lattice girders, supplemented on the inner and outer faces with KARI mesh and loose additional reinforcement, was designed for the upper vaults of the portal and inner tunnel blocks. The weight of the reinforcement of the upper vault of the blocks P1 and 1 at the Adamov portal in the area of hard granodiorites was ca 5t, or 7t per 1 block. At the Blansko portal, the weight of the reinforcement of the upper vault for blocks 41 to 44 was about 12t per 1 block. At the time of concreting of the first block of the upper vault on June 21, 2022, the concreting of foundation strips was finished up to approximately half the tunnel length. The concreting of the other upper vault blocks continued almost regularly in a cycle of two days until the end of the operations. For the concreting of the upper vault, the completion concreting of the invert of the secondary lining on the last five tunnel blocks in time was the key operation so that the concrete could get cured and the formwork (weighing 110 tonnes) could enter the invert belts. There was an about 20-day time difference between concreting of the upper vaults and invert of the same block. The concreting of the last block at the Blansko portal was completed on October 10, 2022. The time of filling the formwork of one regular 12.5m long block was normally 8h with an average volume of concrete of 130m³. The designer proposed masonry facing of the portal parts of the tubes and giving them an original architectural appearance that is stylistically related to the neighbouring original brick-walled portal of tunnel No. 8/1 and the adjacent cladding walls (Fig. 14).

4.6 Mechanical equipment set for excavation and secondary lining

The chapter provides an overview of machines and equipment according to their use during excavation and during the construction of the secondary tunnel lining. Rock breaking, loading and

dokončení betonáže spodní klenby sekundárního ostění na posledních pěti blocích tunelu včas tak, aby betony vyzrály a bednicí forma (o hmotnosti 110 tun) mohla najet na pásy spodní klenby. Časový rozdíl mezi betonáží horní a spodní klenby stejného bloku byl zhruba 20 dní. Betonáž posledního bloku na blanenském portále byla ukončena 10. října 2022. Doba plnění formy jednoho regulérního bloku o délce 12,5 m byla běžně 8 h při průměrném množství betonu 130 m³. Projektant navrhl obložit portálové části tubusů kamenným obkladem a dodat jim originální architektonický vzhled vážící se stylově k sousednímu původnímu zděnému portálu tunelu č. 8/1 a přilehlým obkladním zdem (obr. 14).

4.6 Strojní sestava pro ražbu a sekundární ostění

Kapitola uvádí přehled strojů a zařízení podle jejich využití při ražbě a během realizace sekundárního ostění tunelu. Rozpojování, nakládání a doprava: tunel bagr CAT 328 DLCR, tunel bagr VOLVO ERC 355, nakladač Volvo 110L, Volvo 120L. Stříkaný beton: manipulátor na stříkání betonu Meyco Potenza, tlakové silo pro suchou betonovou směs DryMIX, kompresor pro silo XAVS 448, manipulátor s plošinou MERLO ROTO R38.14 S, teleskopická pracovní plošina DC16/H.L. Vrtání svorníků a čelby: vrtací souprava Atlas Copco Rocket Boomer L2C, kompresor Atlas Copco – XA 75. Betonáž ostění: izolační vůz, armovací vůz, posuvné ocelové bednění (Östu Stettin). Výroba energie pro stavbu z agregátu (35 tis. litrů nafty za měsíc).

4.7 Geotechnický monitoring

Pro přestavbu tunelu byl aplikován geotechnický monitoring podobný jako při stavbě nového tunelu. Jeho součástí byla geologická dokumentace čelby, konvergenční měření v přeráženém tunelu 8/2 i v sousedním tunelu 8/1, geodetické sledování bodů na portálech, inklinometrická měření ve stávajících profilech. Na blanenském portále P2 se prováděla dynamometrická měření napětí v kotvách. Výsledky postupů ražeb a výsledky z geotechnických měření byly prezentovány na radě monitoringu (RAMO), konané zpravidla ve čtrnáctidenních intervalech. Konvergenční profily byly osazovány především na nově vytvořené primární ostění (26 profilů). Do oblastí poruch a mylonitizovaných granodioritů se v předstihu osadily na stávající ostění ze ŽB dílů čtyři profily. Několik konvergenčních profilů bylo osazeno i na ostění sousedního tunelu 8/1 tak, aby bylo možné sledovat případné deformace projevující se z ražeb tunelu 8/2 a včas na ně reagovat. V novém tunelu tak byly 26+4 konvergenční profily, z nichž pouze u tří byl překročen 1. varovný stav – stav vysoké míry bezpečnosti, tzn. že maximální deformace činila 30 mm příčného posunu. Deformace v sousedním tunelu vykazovaly méně než 2 mm. Na žádost RAMO se pravidelně sledovalo a kontrolovalo také původní montované ostění tunelu z hlediska poruch a poškození, a to především v úseku zhoršených geotechnických poměrů, kde byly již dříve zaznamenány trhliny v oblasti výklenků. Sledována byla také vlhkost na ostění a přítoky do tunelu v části původního ostění. Pro sledování účinků přerážeb bylo ve štolě Březovského vodovodu osazeno 10 nivelačních bodů. Z výsledků měření vyplynulo, že v průběhu ražeb docházelo k jejich pozvolnému plynulému poklesu až do hodnoty 11 mm u severního portálu štolý vodovodu (nad blanenským portálem tunelu P2). S rostoucí vzdáleností od portálu se sedání štolý Březovského vodovodu plynule snižuje. Při průběžných kontrolách ostění štolý, prováděných se zástupci Brněnských vodáren a kanalizací, a.s., nebylo zjištěno žádné poškození štolý.

transport: CAT 328 DLCR tunnel excavator, VOLVO ERC 355 tunnel excavator, Volvo 110L loader, Volvo 120L loader. Shotcrete: Meyco Potenza remote control robotic arm spraying machine, DryMIX pressure silo for dry concrete mix, XAVS 448 compressor for the silo, MERLO ROTO R38.14S rotating telehandler, DC16/H.L telescopic working platform. Drilling for rockbolts and into excavation face: Atlas Copco Rocket Boomer L2C drill rig, Atlas Copco – XA 75 compressor. Concreting of tunnel lining: gantry-type scaffold to install the waterproofing membrane, gantry-type scaffold to install the reinforcement, traveller formwork (Östu Stettin). Production of energy for construction by a diesel generating set (35 thousand litres of diesel per month).

4.7 Geotechnical monitoring

The geotechnical monitoring similar to that used during the construction of a new tunnel was applied to the tunnel reconstruction. It included geological documentation of the excavation headings, convergence measurements in the re-excavated tunnel 8/2 and in the adjacent tunnel 8/1, geodetic monitoring of points on the portals, inclinometer measurements on the existing profiles. Dynamometer measurements of the tension in the anchors were carried out on the Blansko portal P2. The results of excavation advance rates and the results of geotechnical measurements were presented at the monitoring board, usually held at fortnightly intervals. Convergence profiles were installed mainly on the newly created primary lining (26 profiles). In the area of faults and mylonitised granodiorites, four profiles were installed ahead of time on the existing reinforced concrete lining segments. Several convergence profiles were also installed on the lining of the neighbouring tunnel 8/1 so that the possible deformations manifesting themselves as a result of the tunnel 8/2 excavation could be monitored and responded to in time. There were 26+4 convergence profiles in the new tunnel; the 1st warning state, the state of high level of safety, was exceeded only on three of them (maximum transverse displacement of 30mm). The deformations in the adjacent tunnel were smaller than 2mm. At the request of the monitoring board, the original segmental tunnel lining was also regularly monitored and checked for defects and damage, especially in the section of worsened geotechnical conditions, where fissures in the areas of the recesses were previously registered. Moisture on the lining and inflows into the tunnel in a part of the original lining were also monitored. 10 levelling points were installed in the gallery for the Březovský water main to monitor the effects of the re-excavation. It followed from the measurements that during the excavation, there was a gradual and continuous decrease in their values up to 11mm at the northern portal of the portal of the gallery for the water main (above the Blansko portal of tunnel P2). The settlement of the gallery for the Březovský water main gradually decreases with the distance from the portal increasing. No damage to the tunnel was detected during continuous inspections of the gallery lining, carried out jointly with representatives of the company Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.

4.8 Complications during the course of construction

At the beginning of the excavation, for about two months, due to the long period for obtaining permits for small-scale blasting, it was necessary to break the hard granodiorite mechanically with a hydraulic hammer. Therefore, several rounds were excavated experimentally by blast-less way using the Green Break Technology procedure (expansion gas cartridges, the use of which is not blasting in the sense of mining regulations), however the

4.8 Komplikace během realizace stavby

Na počátku ražby po dobu zhruba dvou měsíců bylo nutné kvůli dlouhé lhůtě pro vyřízení povolení trhacích prací malého rozsahu rozpojovat pevný granodiorit mechanicky hydraulickým kladivem. Několik záběrů proto bylo pokusně provedeno netrhavinovým rozpojováním postupem Green Break Technology (expanzní plynové nábojky, při jejichž použití nejde o trhací práce ve smyslu báňských předpisů), nicméně poměr cena/výkon/čas byl značně nevýhodný. Kvůli omezené možnosti dodávek čerstvého betonu bylo několik měsíců využíváno suché betonové směsi na stříkaný beton, dodávané ze sil umístěných na blanenském portálu P2. Komerční betonárny fungovaly pouze v denním provozu (bez nočních dodávek) a v nedostatečné kapacitě (výrobní i dopravní) vzhledem k potřebám stavby. Kubatura nastříkaného betonu za jednotku času byla velmi nízká, což bylo způsobeno mimo jiné dopravou suché směsi na čelbu na poměrně velkou vzdálenost (cca až 500 m). Postupem času se podařilo zajistit dodávku mokré betonové směsi pro stříkaný beton, nicméně pouze do 21 hodin ve všední dny a v sobotu. Plánování jednotlivých operací ražby tak, aby byl zvětšený výrub co nejdříve zajištěn stříkaným betonem, bylo tudíž značně obtížné. Proto vzniklo na přeražbách a primárním ostění zpoždění, které bylo kompenzováno dřívějším zahájením prací na sekundárním ostění, jak je popsáno v předchozí kapitole. Dalším nepříznivým vlivem bylo výrazné zdražení a horší dostupnost některých materiálů, komodit a služeb po období covidové pandemie a následné války na Ukrajině. Jednalo se zejména o naftu, která byla kromě dopravy a pohonu mechanizace také jediným zdrojem elektřiny pro celou stavbu. Dále výrazně zdražila výztuž do betonu, cement, izolační fólie a výrobky z plastů.

5. ZÁVĚR

Přestavba tunelu Blanenský č. 8/2 byla náročná hned z několika hledisek. Přeražba tunelu včetně provozu zařízení staveniště byla závislá na naftových agregátech. Zvýšená pozornost se musela věnovat bezpečnosti při práci prováděné v těsné blízkosti provozované koleje č. 1, která byla vyloučena až po dvou měsících od nástupu na staveniště. Strojní odtěžování skalního masivu bez použití trhacích prací po dobu dvou měsíců bylo velmi pomalé. Použití technologie stříkaného betonu suchou cestou bylo značně komplikované. Problémy způsobovaly především (a) doba stříkání vrstvy ostění, (b) průchodnost suché směsi přes dlouhé potrubí a (c) logistika a množství navážené suché směsi.

Přes uvedené komplikace byl tunel včetně vybavení dokončen a předán pro pokládku kolejového svršku ve stanoveném termínu a v požadované kvalitě. Veškeré práce realizovali vlastními kapacitami tuneláři OHLA ŽS, a.s. Jelikož rekonstrukce představuje prakticky novostavbu, měla by tomu odpovídat i životnost a bezproblémový provoz. Zprovoznění dopravy na kolejích č. 1 a 2 bylo stanoveno na 11. prosince 2022 a bylo dodrženo.

*Ing. LUKÁŠ KUNC, Ph.D.,
kunc@ohla-zs.cz, OHLA ŽS, a.s.*

Recenzoval *Reviewed: Ing. Vlastimil Horák*

cost/performance/time ratio was quite disadvantageous. Due to the limited possibility of fresh concrete deliveries, mixes for dry process sprayed concrete were used for several months, delivered from silos located at the Blansko portal P2. Commercial concrete batching plants worked only in daytime operation (no night deliveries) and with insufficient production and transport-related capacity with respect to the needs of the construction. The volume of concrete sprayed per unit of time was very low, which was caused, among other things, by transporting the dry mixture to the excavation face over a relatively long distance (up to ca 500m). Over time, the supply of wet concrete mix for sprayed concrete was successfully secured, but only until 9pm on weekdays and Saturdays. Planning the individual excavation operations in such a way that the enlarged excavation was supported with shotcrete as soon as possible was therefore quite difficult. That is why there was a delay in the re-excavation and installation of the primary lining, which was compensated by the earlier start of work on the secondary lining, as described in the previous chapter. Another adverse effect lay in the significant rise in costs and poorer availability of some materials, commodities and services after the covid pandemic period and the subsequent war in Ukraine. It was mainly diesel oil, which, in addition to transport and driving mechanical equipment, was also the only source of electricity for the entire construction. Furthermore, concrete reinforcement, cement, waterproofing membranes and plastic products became more expensive.

4. CONCLUSION

The reconstruction of the tunnel Blanenský No. 8/2 was challenging from several points of view. The re-excavation of the tunnel, including the operation of the construction site facilities, was dependent on diesel generating sets. Increased attention had to be paid to safety during the work carried out in close proximity to the operating track No. 1, which was closed to traffic as late as two months after the arrival to the construction site. The mechanical excavation of the rock massif without the use of blasting, lasting for two months, was very slow. The use of dry process shotcreting was quite complicated. The problems were mainly caused by (a) the duration of applying the shotcrete lining layer, (b) the passability of the dry mix through the long pipeline, and (c) the logistics and the amount of the dry mix brought to the site.

Despite the mentioned complications, the tunnel including the equipment and service facilities was completed and handed over for the installation of the trackwork on the planned date and in the required quality. All work was carried out by the tunnellers of OHLA ŽS, a.s. using their own capacities. Since the reconstruction is practically a new structure, the service life and problem-free operation should also correspond to it. The deadline for opening of traffic on tracks No. 1 and 2, which was set for December 11, 2022, was kept.

*Ing. LUKÁŠ KUNC, Ph.D.,
kunc@ohla-zs.cz, OHLA ŽS, a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Adamov–Blansko, BC, projektová dokumentace DSP, SUDOP BRNO spol. s r.o.
- [2] Adamov–Blansko, BC, projektová dokumentace změny stavby před dokončením (DZSD), AMBERG Engineering Brno, a.s.
- [3] Adamov–Blansko, BC, projektová dokumentace RDS, AMBERG Engineering Brno, a.s.