

NÁVRH A REALIZACE REKONSTRUKCE TUNELU SEDLEJOVICE

DESIGN AND REALISATION OF RECONSTRUCTION OF SEDLEJOVICE TUNNEL

MIROSLAV LIPKA

ABSTRAKT

Sedlejovecký tunel je součástí železniční trati 030 Turnov – Liberec, na které v roce 2015 proběhla stavební obnova nutná pro optimalizaci na vyšší traťovou rychlost. Text seznamuje s technickým řešením komplexní rekonstrukce jednoho z nejstarších železničních tunelů na území České republiky. Tunel není svou délkou 77 m velkým podzemním dílem, ale vzhledem ke své dlouhé historii byl vystaven kontinuálnímu provoznímu zatížení, které se projevilo v závadách na jeho konstrukci. Ostění jednotlivých pásů tunelu nebylo zhotoveno najednou, ale postupně, v rozmezí několika desetiletí druhé poloviny 19. století. Stavitelé v průběhu výstavby použili různé stavební techniky a konstrukční materiály. K návrhu rekonstrukce proto bylo přistoupeno s jistou dávkou obezřetnosti a invence. Díky zodpovědnému přístupu správce tunelu byla rekonstrukce rozšířena i na oba příportálové úseky, které jsou zasazeny v hlubokém skalním zářezu. Bylo realizováno plošné zajištění skalních stěn přímo navazujících na portály. Článek prezentuje sanační opatření vedoucí k zachování zajímavého technického díla pro budoucí čas.

ABSTRACT

The Sedlejoovice tunnel is part of rail track 030 Turnov – Liberec, on which the reconstruction necessary for the optimisation to higher speed limit on the track was carried out in 2015. The text acquaints readers with the technical solution to the comprehensive reconstruction of one of the oldest railway tunnels in the Czech Republic. The tunnel is not a big underground structure as far as its length of 77m is concerned, but with respect to its long history, it was exposed to continual operational loading, which manifested itself in defects of the structure. The lining of individual tunnel blocks was carried out in stages, within several decades in the second half of the 19th century, not in one pass. The builders used various construction techniques and building materials during the course of the construction. The design of the reconstruction was therefore approached with a certain measure of caution and invention. Thanks to the responsible approach of the tunnel administrator the reconstruction was extended even to both pre-portal sections, which are located in a deep rock cutting. The surface of the rock walls directly connecting to the portals was stabilised. The paper presents the rehabilitation measures leading to the preservation of the interesting technical work for the future.

ÚVOD

V roce 2015 bylo v České republice uskutečněno několik velkých rekonstrukcí důležitých železničních tratí. Jednou z nich byla i železniční trať s označením 030, spojující města Jaroměř a Liberec. Konkrétně úsek mezi městy Turnovem a Hodkovicemi nad Mohelkou v Libereckém kraji. Historie této malebné železniční spojnice sahá až do poloviny 19. století, kdy na základě Listu povolení Františka Josefa I. ze dne 15. června 1856 byla povolena výstavba Pardubicko-liberecké severojižní dráhy [2]. Stavba železnice probíhala etapově v letech 1857 až 1859. Úsek Turnov – Liberec byl předán do pravidelného užívání jako poslední v roce 1859. Součástí trati je několik velice zajímavých železničních objektů, které se nacházejí v blízkosti obce Sychrov a dodnes jsou živým důkazem neobyčejného stavebního umu našich předků.

Nejvýznamnější technickou památkou je Sychrovský tunel délky 976 m, vybudovaný pod samotnou obcí Sychrov. Na něj navazuje kamenný Sychrovský železniční viadukt, klenoucí se ve výšce 32 m nad říčkou Mohelkou, poblíž obce Radimovice. Třetí a poslední technickou památkou je sice nevelký, ale o to zajímavější tunel Sedlejovice. Ten se nachází, jak už z názvu vyplývá, v katastru obce Sedlejovice, nedaleko nádherného areálu Sychrovského zámku. Ráz okolního členitého terénu tvoří romantická údolí a zákruty vytvořené říčkou Mohelkou, vinoucí se podél železniční trati. Zde překonává v délce 77 m tunel Sedlejovice (obr. 1) nevelký, ale strmý skalní hřbet. Na základě požadavku investora (SŽDC s. o.) byl v rámci revitalizace železniční trati na vyšší provozní rychlost zadán průzkum a zhotovení

INTRODUCTION

Several large projects for reconstruction of railway tracks were realised in 2015. One of them was the railway track marked as 030 between the towns of Turnov, connecting the town of Jaroměř with the town of Liberec. Concretely the section between the towns of Turnov and Hodkovice Nad Mohelkou in the region of Liberec. The history of this picturesque railway reaches back to the half of the 19th century, when the development of the Pardubice – Liberec North-Southern connection railway line was permitted on the basis of the Franz Joseph Approval Sheet dated the 15th June 1856 [2]. The construction of the railway proceeded at stages from 1857 to 1859. The Turnov – Liberec section was brought into regular service as the last one in 1859. Several very interesting railway structures are parts of the track. They are located near the municipality of Sychrov and are living proofs of the extraordinary building skills of our predecessors.

The most important technical monument is the 976m long Sychrov tunnel, which was built under the village of Sychrov itself. The Sychrov railway viaduct arching at the height of 32m above the little river of Mohelka near the village of Radimovice, links to it. The third and last technical monument is the, on the one hand not large but, on the other hand, even more interesting Sedlejoovice tunnel. It is located, as it follows from the name, in the cadastral district of the municipality of Sedlejovice, near the beautiful grounds of Sychrov castle. The character of the surrounding undulated terrain is formed by romantic valleys and meanders created by the little river of

projektové dokumentace k rekonstrukci tunelu (obr. 2). Technický pasport tunelu a vypracování projektové dokumentace provedl tým firmy AMBERG Engineering Brno, a.s.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Stavebně-technické parametry tunelu

Nosnou konstrukci tvoří šest tunelových pásů označených TP1 až TP6 včetně obou portálových úseků. Zajímavostí je, že všech šest pásů nebylo v době výstavby zhotoveno současně, ale jen čtyři z nich. Vybudovány tak byly oba portálové pásy TP1 a TP6 a vnitřní pásy TP4 a TP5. Pro tunelové ostění postavené v této první fázi bylo použito více druhů kamene. K vyzdění věnce a čelní portálové stěny turnovského vjezdového portálu bylo užito masivních pískovcových kvádrů a taktéž pískovcového řádkového zdiva. Vrchní část portálu je zakončená stupňovitě a osazená krycí kamennou deskou. Výjezdový liberecký portál je zasazený přímo do skalního masivu a je opatřený jen pískovcovým kvádrovým věncem. Konstrukce opěr vnitřních tunelových pásů jsou zhotoveny z hrubého řádkového zdiva z žulových kopáků a pískovcových kvádrů. Pro některé části opěr byla pravděpodobně využita opuková rubanina z ražby tunelu, následně upravená do podoby hrubého kyklopského zdiva. Podle získaných archivních podkladů byla síla ostění uvažována 50 cm. Klenby ve všech tunelových pásech provedených z kamene jsou z řádkového pískovcového zdiva.

V roce 1894 byly dodatečně zhotoveny i zbývající dva pásy TP2 a TP3. Technologie zde však byla odlišná a stavitelé použili místo kamenného zdiva cihelné. Jednalo se o tzv. „zvonivky“, známé i jako „klinkry“. Tyto pásy byly ve vrcholu klenby uzavřeny pískovcovými klenáky.

S ohledem na nevelkou délku nemá Sedlejevický tunel žádné záchranné výklenky ani ventilační prvky. Větrání je přirozené.

Geologické a hydrogeologické poměry

Sedlejevický tunel je vyražen v opuce, která je vodorovně lavicovitě zvrstvená. Odhadovaná maximální výška nadloží je 36 m.

Podle získaných archivních podkladů je nadloží jen mírně vodonosné. Horninový masiv obsahuje minimum podzemní



Obr. 1 Situace tunelu Sedlejevici

Fig. 1 Sedlejevici tunnel layout

Mohelka flowing along the rail track. Here the track overcomes a not big but steep rock ridge passing through the 77m long Sedlejevici tunnel (see Fig. 1). The survey and preparation of design documentation for the tunnel reconstruction was ordered on the basis of project owner's requirement (the Railway Infrastructure Administration, state organisation) (see Fig. 2). The report of the technical condition of the tunnel and the design documents were carried out by a team employed by AMBERG Engineering Brno, a.s.

BASIC DATA

Structural and technical parameters of the tunnel

The tunnel structure is formed by six tunnel blocks marked as TP1 through to TP6, including both portal sections. An interesting fact is that not all six blocks were carried out concurrently during the construction, but only four of them. Both portal blocks TP1 and TP6 and internal blocks TP4 and TP5 were built. Several stone types were used for the tunnel lining built in this first phase. Massive sandstone blocks and coursed sandstone masonry were used for the collar and the portal front end wall of the Turnov entrance portal. The upper part of the portal is terminated in a stepped way and a stone slab is laid on it. The Liberec exit portal is set directly into the rock massif and is provided only with a sandstone ashlar collar. The structure of sidewalls of the internal tunnel blocks is made from visible coursed masonry using granite and sandstone blocks. Cretaceous marble muck from the tunnel excavation, subsequently treated to get the look of cyclopean masonry, was probably used for some parts of the sidewalls. According to the archive documents obtained, the lining thickness of 50cm was assumed. The vaults in all stone tunnel blocks are from coursed sandstone masonry.

The remaining two lining blocks TP2 and TP3 were additionally carried out in 1894. In this case the construction technique was different. Instead of stone the builders used brick masonry. The so-called clinker bricks were used. These lining blocks were closed by sandstone keys.

With respect to the small length, the Sedlejevici tunnel has neither safety recesses nor ventilation elements. The ventilation system is natural.

Geological and hydrogeological conditions

The Sedlejevici tunnel was driven through horizontally stratified cretaceous marble tables. The overburden height is estimated to be 36m.



Obr. 2 Pohled na východní výjezdový portál Sedlejevického tunelu

Fig. 2 A view of the eastern exit portal of the Sedlejevici tunnel



Obr. 3 Kopaná sonda do kamenného ostění tunelu Sedlejšovice a měření hloubky volného prostoru za obezdívkou

Fig. 3 A trial hole into the stone masonry of the Sedlejšovice tunnel and measuring the free space behind the lining

vody a její množství je závislé na vydatnosti atmosférických srážek. Podzemní voda je vázaná pouze na systém vodorovných a svislých puklin. Ty jsou rozevřeny až do decimetrových šířek. Kolem takovýchto puklin dochází vlivem střídání ročních období k značné degradaci masivu a následnému odpadávání bloků kamene velikosti do 1 m ze stěn u obou portálů. Dalším potenciálně vodonosným prvkem byla shledána malá prohlubeň na povrchu, která se nachází přibližně uprostřed délky tunelové trouby. V důsledku vydatných dešťových a sněhových srážek může v této terénní depresi docházet k akumulaci vody. Ta může prouděním přes systém trhlin proniknout do tunelu.

Skalní svahy zářezu u vjezdového a výjezdového portálu jsou strmé a před rekonstrukcí byly pokryty hustou náletovou vegetací. Povrchová degradace horniny se pohybovala řádově do hloubky od několika centimetrů až po maximálně nižší decimetry. Větší degradaci masivu v bezprostřední blízkosti portálu bylo zabráněno pravidelně prováděnou údržbou. Před vjezdovým portálem v patě zářezu byl zaznamenán drobný sesuv zeminy, suti a organického materiálu, zasahující až do průřezného profilu tunelu.

PASPORTIZACE POŠKOZENÍ KONSTRUKCE TUNELU

V rámci předprojektové přípravy provedl tým firmy AMBERG Engineering Brno, a.s. na tunelu Sedlejšovice terénní průzkum s podrobným záznamem zjištěných škod. Záznam byl proveden pro ostění vnitřní části tunelu, na obou portálech a přiléhajících skalních zářezích. Následně byly veškeré zjištěné informace digitálně zpracovány v softwaru Autocad. Jako podklad pro zpracování dat posloužil Dražní předpis ČD S6. Vzhledem k tomu, že tunel Sedlejšovice dosahuje délky jen 77 m, nebyla nasazena pojízdná kolejová jednotka vybavená scannerem pro záznam jednotlivých poškození využívající softwaru TunnelMap. Součástí pasportu byla fotodokumentace interiéru a exteriéru tunelu.

Pro dílčí představu rozsahu a hloubky degradace ostění tunelu byly obyčejným kladivem provedeny v obou příportálových pásech kopané sondy (obr. 3).

Stavebně-technický stav – rozsah poškození

Na západním vjezdovém portálu byla identifikována trhlina tloušťky 1 až 2 cm, vzniklá v důsledku odtržení portálového límce od pásu TP1. Trhlina již byla v minulosti sanována přespárováním, ale došlo k jejímu opětovnému prokopírování. Obdobné poškození, ale většího rozsahu, bylo zastiženo na

According to the archive documents obtained the overburden is moderately water-bearing. The ground massif contains a minimum of groundwater and its amount depends on the amount of atmospheric precipitation. Groundwater is bound only to the system of horizontal and vertical fissures. The fissures are open up to decimetre widths. The rock mass is significantly degraded around such fissures due to the alteration of seasons. Stone blocks up to 1m subsequently slide down from the walls at both portals. A small depression in the surface located approximately in the middle of the tunnel tube length was found to be another potentially water-bearing element. Water may accumulate in this terrain depression as a result of heavy rainfall and snowfall. Water may penetrate to the tunnel through the system of cracks.

The rock slopes of the cuttings at the entrance and exit portals are steep and were covered with dense naturally spread vegetation. The ground surface degradation reached to the depth in the order of several centimetres, up to a maximum of lower decimetres. Greater degradation of the massif in the immediate proximity to the portal was prevented by regular maintenance. Minor sliding of soil, debris and organic material extending up to the traffic clearance of the tunnel was registered in front of the entrance portal.

TUNNEL STRUCTURE CONDITION SURVEY

AMBERG Engineering Brno, a.s. carried out a terrain survey within the framework of the pre-design preparation, with detailed recording of the identified defects. The record was carried out for the lining of the inner part of the tunnel, at both portals and the adjacent rock cuttings. All the information obtained was subsequently processed digitally in the Autocad software. The Railway Directive ČD S6 was used as the source for the processing of data. The movable rail unit equipped with a scanner using the TunnelMap software for recording individual defects was not deployed with respect to the fact that the Sedlejšovice tunnel is only 77m long. Photodocumentation of the tunnel interior and exterior was part of the survey report.

Trial holes were dug in both portal blocks using a hand-held pick hammer to allow for developing a partial idea of the extent and depth of tunnel lining degradation (see Fig. 3).

Structural-technical condition – the damage extent

A crack 1 to 2cm wide developed as a result of tearing the portal collar from the block TP1 which was identified at the western entrance portal. The crack was repaired already in the past by repointing, but it repeatedly copied itself to the surface. Similar damage, but to a greater extent, was encountered at the exit portal TP6. A pronounced 1.5cm wide crack running across the whole vault was registered in this location. The other crack was not so prominent. It was located on the right-hand upper part of the eastern exit portal TP6 and its length reached ca 4.5m.

The inner masonry lining of the tunnel blocks (probably from the tunnel muck) is heavily degraded. The lining was disturbed by three main factors. The first factor lies in the common weather effects acting on exposed structures. The other factor lies in the degradation due to the operation of steam locomotives in the past and Diesel engines today. Locomotive emissions settled on the lining and accelerated the stone disintegration. The corrosive effect of SO₂ acts on the lining material (stone, mortar binder), which turns to H₂SO₄ under the influence of moisture and atmospheric O₂. The third of the factors of the poor condition of the stone masonry lining was the process of repointing the masonry with cementitious pointing mass instead of the originally used lime mortar. In the trial holes the structural

portálu výjezdovém TP6. Zde byla zaznamenána výrazná trhlinka šířky 1,5 cm, procházející přes celou klenbu. Další trhlinka nebyla tak markantní, nacházela se na pravé horní části východního výjezdového portálu TP6 a dosahovala délky cca 4,5 m.

Vnitřní ostění tunelových pásů z kamenného zdiva (pravděpodobně z rubaniny tunelu) je silně degradované. Narušení ostění způsobily tři hlavní faktory. Prvním faktorem jsou běžné povětrnostní vlivy, působící na otevřeně exponované stavby. Druhým faktorem je degradace vlivem provozu, v minulosti parních a v současné době diesellových hnacích jednotek. Exhalace lokomotiv se usazovaly na ostění a urychlovaly rozklad kamene. Na materiál ostění (kámen a maltové pojivo) působí korozní účinek SO_2 , který se vlivem vlhkosti a vzdušného O_2 mění na H_2SO_4 . Třetím z faktorů špatného stavu kamenného ostění bylo přespárování původně použité vápenné malty cementovou spárovací hmotou. V provedených kopaných sondách byl kámen ostění tak slabé struktury, že se pod úder kladiva doslova rozsypl. Představoval prakticky již jen křehkou slupku, kryjící dutinu vyplněnou zcela rozloženým horninovým materiálem, v případě vyšší vlhkosti až kašovitě konzistence. Ostěním se dalo u obou sond proniknout velice snadno až do hloubky cca 45 cm. Při předpokládané tloušťce ostění 50 cm byl tudíž stav konstrukce naprosto havarijní. Za zmínku stojí, že degradace zdiva byla zaznamenána již v pásových listech z roku 1949.

Tunelové pásy TP2 a TP3 z cihelného zdiva byly postaveny cca 35 let po vybudování pásů ze zdiva kamenného. Není známo, proč byl zvolen právě tento postup a ostění nebylo zřízeno současně. Na konečný návrh rekonstrukce to však nemělo zásadní vliv. Cihly „zvonivky“ („klinkry“) byly také povrchově degradovány, v tomto případě do hloubky mezi 15 až 30 mm. Poškození bylo konstatováno na 70 % plochy klenby a 30 % plochy opěr obou předmětných tunelových pásů. Spáry mezi cihlami vykazovaly jen malý stupeň zvětrání.

Zdivo obou portálových límců bylo degradováno vlivem povětrnosti a také náletovými rostlinami v částečně nevyplněných spárách kamenného zdiva. Docházelo k odprysku kamenného obkladu a zvětrávání výplňového materiálu. V průběhu let byly některé odprýskané plochy nahrazeny provizorními betonovými plombami nevalné kvality. Nadportálový příkop západního výjezdového portálu byl zcela zanesen bahnem a zarostlý nálety. Oba odvodňovače vyústující přes portálový límec byly ucpané usazeným organickým materiálem, a tudíž neplnily svou funkci. Pět kamenných krycích desek nad výjezdovým portálem bylo povrchově degradováno a uvolněno v důsledku vydrolení spojovacího materiálu.

Skalní stěny nad oběma portály a v předzářezích vykazovaly značný stupeň zvětrání. Materiál odpadávající ze skalního masivu se postupně hromadil kolem železniční trati a vytvářel sutové kužely výšky přibližně 2 m, v některých případech zasahující do průjezdného profilu tratě.

Na základě informací o rozsahu poškození a celkovém stavebně-technickém stavu konstrukce tunelu Sedlejovice se přistoupilo k návrhu rekonstrukčních prací. Návrh byl průběžně konzultován se zástupci Správy údržby železničních cest Libereckého kraje, kteří požadovali provést návrh rekonstrukce tak, aby byla zajištěna co nejdělsí možná bezúdržbovost dané konstrukce.

NÁVRH REKONSTRUKCE TUNELU A SOUVISEJÍCÍCH OBJEKTŮ

Stavební práce na revitalizaci tunelu Sedlejovice lze rozdělit do tří hlavních stavebních objektů. Největší objem si vyžádala výměna kamenného zdiva opěr v pásích TP1, TP4 a TP6. Druhou položkou bylo zajištění a začištění skalních zářezů nad a před oběma portály včetně zajištění statiky obou portálových límců. Třetí a poslední fáze rekonstrukce se skládala ze sanačních

lining stone was so weak that it literally crumbled away under hammer blows. It was only a brittle skin covering a cavity filled with completely decomposed rock material, even with up to mushy consistence in the case of higher moisture. The lining could be very easily penetrated up to the depth of ca 45cm in both holes. It means that the condition of the structure was absolutely critical taking into consideration the assumed lining thickness of 50cm. Worth mentioning is the fact that the masonry degradation was recorded already in tunnel block sheets from 1949.

The tunnel lining brickwork blocks TP2 and TP3 were built ca 35 years after the completion of the stone masonry lining. It is not known why just this procedure was chosen and the lining was not built at the same time. Nevertheless, it did not have any substantial influence on the final design of the reconstruction. The surface of the clinker bricks was also degraded, in this case up to the depth of 15 to 30mm. The damage was identified on 70% of the vault surface area and 30% of the surface area of the sidewalls of both tunnel blocks in question. Joints between bricks exhibited only a small degree of weathering.

The masonry of both portal collars was degraded due to atmospheric effects and the naturally spread vegetation in only partially filled stone masonry joints. Flaking of the masonry facing surface and weathering of the filling material happened. Over the years some flaking surfaces were replaced with poor quality temporary concrete filling. The ditch above the western entrance portal was completely filled with mud and covered with naturally spread vegetation. Both drains running over the portal collar were plugged by organic sediments, therefore they did not fulfil their function. The surface of five covering stone slabs above the entrance portal was degraded and the slabs were loosened as a result of chipping the bonding material out.

The rock walls above both portals and in the pre-portal cuttings exhibited a significant degree of weathering. The material falling down from the rock massif gradually piled up along the rail track and created debris cones approximately 2m high, which, in some cases, extended to the clearance profile of the track.

The work on the proposal for the reconstruction commenced on the basis of the information about the extent of the damage and the overall structural technical condition of the Sedlejovice tunnel structure. The proposal was continually consulted with representatives of the Administration of Rail Route Maintenance of the region of Liberec, who required that the proposal was carried out in a way securing an as long maintenance free period as possible for the structure.

TUNNEL AND RELATED STRUCTURES RECONSTRUCTION PROPOSAL

The construction work on the revitalisation of the Sedlejovice tunnel can be divided into three main construction objects. The largest volume required the replacement of the stone masonry of the side walls in blocks TP1, TP4 and TP6. The second item was the stabilisation and cleaning of rock cuttings above and in front of both portals, including the stabilisation of both portal collars. The third and last phase of the reconstruction comprised rehabilitation and conservation interventions designed to protect the structure against the impact of common operation and weather.

Replacement of the lining

The technical condition of the sidewalls in the tunnel blocks marked as TP1, TP4 and TP6 reached the stage at which the overall replacement of the degraded masonry was the only option. The cretaceous marble lining of the tunnel was already



Obr. 4 Dělení stávajícího ostění na pruhy šířky 1,4 m pomocí vertikální příložné diamantové kotoučové pily

Fig. 4 Dividing the existing lining into blocks 1.4m wide by means of a vertical diamond slitting saw

a konzervačních zásahů, které mají konstrukci ochránit před vlivem běžného provozu a počasí.

Výměna ostění

Technický stav opěr v tunelových pásech označených TP1, TP4 a TP6 dospěl do stadia, kdy jedinou možností byla celková výměna degradovaného zdiva. Opuková obzdvívka tunelu byla již za hranici své životnosti a bylo potřeba okamžitě jednat. Rozpočet stavby však nebyl na tuto situaci připraven a bylo proto nutné najít řešení, které nebude vyžadovat snesení ostění. Projektant proto jako východisko zvolil postupné nahrazení poškozeného zdiva konstrukcí z prostého betonu v pásech maximální šířky 1,4 m. Úhrnná délka zdiva, které bylo ve všech pásech nutné vyměnit, činila 54,4 m.

Postup výměny opěr tunelu byl následující: V první fázi zhotovitel přikotvil stávající klenbu v patě. To bylo uskutečněno pomocí samozávrtných kotev R25 Ø 25 mm, vrtaných v rozteči po 1 m. V hlavách kotev byl zřízen roznášecí práh z ocelových profilů U240. Kotvy byly pro lepší stabilitní účinek směrově vystříhány s odklonem $\pm 5^\circ$ od kolmice ke klenbě.

V následujících krocích muselo být důsledně dodržováno pravidlo, že mezi vybourávanými pásy zdiva byly ponechány minimálně dva pásy původního ostění. Pokud to postup prací neumožňoval, musely být mezi vybourávanými úseky již minimálně dva pásy zabetonované, a to s minimálně 50% pevností betonu.

Rozdělení ostění tunelu na požadované díly šířky do 1,4 m bylo provedeno diamantovými kotoučovými pilami, uchycenými na ostění do pojízdné lišty (obr. 4). Hloubka zářezu musela být minimálně 0,5 m tak, aby byl zajištěn průnik řezu ostěním v šířce odhadnuté na základě provedené sondy.

Výjimku tvořily pouze úseky u portálových límců. Ty bylo nutné rozebrat ručně, aby nedošlo k poškození kamenů. Stabilita volné délky límce portálu byla dodatečně zajištěna tyčovými kotvami R25 Ø 25 mm, vrtanými do boku opěr. Hloubku a způsob založení bouraného ostění se projektantovi nepodařilo z archivní projektové dokumentace zjistit. Proto bylo nutné po odbourání stávající opěry posoudit každou základovou spáru individuálně za účasti autorského dozoru a TDI (technického dozoru investora). Bylo nezbytné zajistit hloubku nového ostění z prostého betonu minimálně 0,5 m pod horní hranu drážní stezky nebo na únosném podloží. Důležitou technologickou zásadou, platnou pro zhotovitele, bylo zamezení vypadávání zakládky zpoza klenby nad bouranou částí opěr. I když se zhotovitel tento pokyn snažil důsledně dodržovat, byl stav zakládky za ostěním

beyond its useful life and it was immediately necessary to act. But the construction budget was not prepared for this situation. It was therefore necessary to find a solution which would not require the removal of the lining. For that reason the designer proposed, as a resort, the gradual replacement of damaged masonry with unreinforced concrete in blocks 1.4m wide as a maximum. The aggregate length of the masonry which had to be replaced in all blocks amounted to 54.4m.

The following procedure for replacing the tunnel sidewalls was designed: During the first phase the contractor fixed the existing vault at the springing with anchors. Self-drilling anchors R25 Ø 25mm drilled at 1m spacing were used. A load-spreading beam from U240 steel sections was carried out at the heads of the anchors. The directions of the anchors were staggered with the deviation from the perpendicular to the vault of $\pm 5^\circ$.

In the subsequent steps the rule had to be strictly adhered to that two blocks of the original lining as a minimum had to be left between the blocks being broken out. When the work advance did not allow it, two blocks with concrete lining had to be finished between the sections being broken out as a minimum, with the minimum concrete strength of 50%.

The division of the tunnel lining into the required blocks up to 1.4m wide was carried out using diamond slitting saws fixed to the lining on a movable rail (see Fig. 4). The slit had to be 0.5m deep as a minimum so that the penetration of the cut through the lining with the thickness estimated according to the trial holes was guaranteed.

Only the sections at the portal collars were exceptions. The collars had to be dismantled manually to prevent damaging of the stones. The stability of the unsupported length of the portal collar was sufficiently provided by R25 Ø 25mm rod anchors drilled into the side of the bench. The designer did not manage to determine the depth and system of foundation of the lining to be broken out from archive design documents. For that reason it was necessary to assess each foundation base individually by the consulting engineer's supervisor and client's supervising engineer after the sidewall was broken out. It was necessary to ensure the depth of the new unreinforced concrete lining to be at least 0.5m under the upper edge of the railway inspection path or when good bearing ground was reached. Preventing falling of the packing from behind the lining above the part of the sidewall being broken out was an important technological rule. Despite the fact that the contractor tried to adhere to this instruction, the condition of the packing behind the tunnel lining was so poor that the packing fell spontaneously (see Fig. 5). Despite this fact the course of this technological phase got along without more serious problems and no additional stabilisation measures were necessary.

The construction of the replacement lining started immediately after the old lining had been broken out. The drainage layer was carried out subsequently. In this case the designer chose, on the basis of client's approval, an innovative procedure using bales of straw instead of today commonly used plastic membrane drainage. This procedure was chosen on the basis of the lack of information about the thickness of the space between the tunnel lining and the surface of the excavated opening. Even the significant unevenness of the excavated opening surface and the difficulty of the application of usual plastic membrane drainage to the uneven surface were taken into consideration.

After removing the lining, the instable part of the packing got in the majority of cases loose. It was removed up to the more consistent layer. Holes for concrete reinforcement bars were bored

tunelu takový, že samovolně vypadávala (obr. 5). I přesto se průběh této technologické fáze obešel bez zásadnějších problémů s tím, že nebylo nutné provádět dodatečná sanační opatření.

Výstavba náhradního ostění byla započata bezprostředně po vybourání starého ostění. Následně byla zhotovena drenážní vrstva. Zde projektant zvolil na základě souhlasu investora inovativní postup a místo dnes běžně používaných fóliových izolací použil jako drenážní materiál balíkovanou slámu. Tento postup byl zvolen na základě nedostatku informací o velikosti prostoru mezi ostěním tunelu a výrubem. Zohledněna byla také značná nerovnost výrubu, a tudíž obtížné provádění obvyklé fóliové drenáže na nerovný povrch.

Po odstranění ostění došlo ve většině případů k uvolnění nestabilních částí základky. Ta byla odebrána až do konzistentnější vrstvy. Do ní byly navrtány v předepsaném rastru ocelové trny z betonářské výztuže a na ně byla natknuta sláma. Docházelo však k tomu, že se napíchnuté balíky slámy neudržely pohromadě. Rozsypaly se a nebylo možné na ně umístit separační vrstvu z geotextilie.

Zhotovitel si vypomohl dodatečným přitížením a zpevněním bloků slámy ocelovými KARI sítěmi (obr. 6). Předpokládaná tloušťka drenážní vrstvy byla 300 mm, ale vzhledem ke značným nerovnostem výrubu vycházela drenážní vrstva od 200 do 600 mm. Ukázala se tak výhodnost slámy jako materiálu dobře formovatelného natlačením do vzniklých dutin. Spotřeba slámy byla v některých případech značná, protože se předem nevědělo, jak se bude při instalaci tento přírodní materiál chovat. Drenáž byla posléze opatřena separační geotextilií 500 g/m² jako ochranou při navazující betonáži.

Do jednostranného bednění, provedeného zhotovitelem podle aktuální potřeby přímo na staveništi, byl ukládán beton třídy C25/30 XC2 XF1 (obr. 7). Návrh rekonstrukce původně počítal



Obr. 6 Slámová drenážní vrstva s výztužnou a přídržnou KARI sítí
Fig. 6 Straw drainage layer with the reinforcing and holding KARI mesh



Obr. 5 Vyřiznutý pruh ostění a odhalená základová spára v tunelovém pásu č. TP6

Fig. 5 Cut out block of lining and exposed foundation base in tunnel block TP6

into it at the prescribed grid spacing and straw was impaled on them. However, it sometime happened that the impaled bales of straw did not keep together. They fell apart and it was impossible to apply the separation geotextile layer to them. .

The contractor helped by additional surcharging and strengthening the bales of straw with KARI welded mesh (see Fig. 6). The assumed thickness of the drainage layer was 300mm, but it ranged from 200mm to 600mm with respect to the significant unevenness of the excavation surface. The favourableness of straw as a material easily formable into the cavities turned out in this way. The consumption of straw was high in some cases because it was not known in advance how this natural material would behave during the installation. The drainage was



Obr. 7 Dokončená nová betonová opěra v řezu; zprava: drenážní vrstva slámy, separační geotextilie 500 g/m² a opěra z prostého betonu C 25/30 XC2 XF1
Fig. 7 Completed new straw drainage layer, 500g/m² separation geotextile and the unreinforced concrete sidewall



Obr. 8 Nově betonované pruhy ostění, příložné bednění se vzpěrami, hotová betonová opěra po odbednění v pásu č. TP6

Fig. 8 Newly cast concrete blocks of the lining, straight panel formwork with braces, completed concrete sidewall after stripping of the formwork in TP6 block

s rovným příložným bedněním. Zhotovitel však dokázal vyrobit bednění kopírující původní tvar ostění. Výsledný profil nové opěry potom lícoval s ponechanou původní obozdívkou a byl tak zachován dřívější charakter tunelu (obr. 8 a 9). Vodorovná pracovní spára mezi novým ostěním a původní klenbou tunelu byla nejdříve druhý den po betonáži vyplněna injektážní hmotou. Tím se zajistilo statické spolupůsobení mezi starou a novou obozdívkou.

Zajištění skalních stěn v předzářezech a přikotvených do portálu

Oba portály tunelu Sedlejšovice jsou zřízeny v opuce. Tato hornina má značnou tendenci zvětrávat. Při zanedbání údržby proto dochází k častému opadávání úlomků horniny do prostoru kolejí. Proto bylo rozhodnuto o celoplošném zajištění skalních stěn pomocí dvouzávitových drátěných sítí Maccafferi (obr. 10). Navrhovaná minimální tahová pevnost musela dosahovat 89 kN/m. Síť byly opatřeny protikorozní ochranou. Přichycení bylo provedeno samozávrtnými tyčovými svorníky typu R32 v rastru 2x2 m. Ten byl upravován v povoleném rozsahu podle aktuálních podmínek na stavbě. Předepsaná minimální délka kotev byla stanovena 3 m. Skutečná délka byla upravována na základě hloubky rozpukání skalního masivu a směru a rozevření puklin. Před začátkem osazování sítí musel být zářez zbaven veškerých náletových dřevin a následně mechanickým dolamováním odstraněny uvolněné části horniny. Projekt předpokládal degradaci horniny do hloubky i několika decimetrů. Realita byla taková, že skutečný stav opuky byl výrazně lepší. Před položením sítí byly zaplombovány zející pukliny ve skalním masivu.

U vjezdového portálu byla zaznamenána staticky významná trhlinka. Návrh její sanace spočíval v přikotvení portálu ke klenbě tunelu pomocí kompozitních tyčových svorníků R25 Ø 25 mm, délky 3 m v rozteči 1,5 m po obvodu klenby. Trhlinky u vjezdového portálu nebyly sice staticky významné, nicméně k jejich sanaci bylo přistoupeno stejně odpovědně. Kamenné zdivo klenby porušené trhlinkami přibližně 4,5 m od okraje vjezdového portálu bylo opraveno pomocí prutů výztuže HeliBar systému HELIFIX. Výztuhy zde byly vkládány do předem vyfrézovaných drážek, když hloubka drážky byla 60 mm a její šířka 15 mm. Po vyfrézování bylo nutno drážku důkladně vyčistit stlačeným vzduchem od prachových částic a zbavit ji úlomků. Minimální krytí prutů výztuže HeliBar systému HELIFIX od líce ostění bylo 35 mm. Výztuhy se do drážek vlepovaly pomocí vysokopevnostní tixotropní cementové malty HeliBond.

subsequently covered with a 500g/m² separation geotextile providing protection during the subsequent casting of concrete.

Concrete C25/30 XC2 XF1 was poured behind single-sided formwork carried out by the contractor according to the current need directly on the construction site (see Fig. 7). The reconstruction design originally counted with straight panel wall formwork. But the contractor managed to produce his own formwork copying the original geometry of the lining. The resultant profile of the new sidewall mated with the original lining which was left in place, therefore the former character of the tunnel was preserved (see Figures 8 and 9). The horizontal construction joint between the new lining and the original tunnel vault was first filled with injection grout the day after the casting of concrete. In this way the composite action between the old and new linings was secured.

Stabilisation of rock walls in pre-cuttings and tying portal walls together

Both portals of the Sedlejšovice tunnel were carried out in cretaceous marble. This rock has a significant tendency to weathering. For that reason frequent falling of rock fragments to the rail track space occurs if maintenance is neglected. The decision was therefore made to stabilise the whole surface of the rock walls with Maccafferi double twisted wire mesh (see Fig. 10). The proposed minimum tensile strength had to achieve 89kN/m. The mesh was provided with corrosion protection. It was fixed by R32x5mm selfdrilling rod anchors installed on 2x2m grid. The grid was modified within a permitted scope depending on actual conditions on site. The prescribed minimum length of anchors was 3m. The actual length was adjusted on the basis of the depth of the rock mass fracturing and the trend and aperture of cracks. All naturally seeded tree species had to be removed from the cutting prior to the commencement of the mesh installation and loosened parts of the rock had to be removed by mechanical scaling prior to the commencement of the mesh installation. The design assumed the degradation of rock to reach even up to the depth of decimetres. The reality was that the actual condition of cretaceous marble was significantly better. Open cracks in the rock mass were filled prior to placing the mesh.

A statically significant crack was registered at the exit portal. The proposal for its treatment lied in fixing the portal to the tunnel vault with anchors using 3m long composite R25 Ø 25mm rod anchors installed at 1.5m spacing around the vault circumference. The cracks at the entrance portal were not statically significant. Nevertheless, their treatment was approached with the same weight. The stone masonry of the vault disturbed by cracks approximately 4.5m from the entrance portal edge was repaired using HELIFIX system HeliBar reinforcement. The stiffeners were inserted into 60mm deep and 15mm wide grooves milled out in advance. When the milled out groove was finished it was necessary to clean it out with compressed air and remove dust particles and chippings from it. The minimum cover of the HELIFIX system HeliBar stiffening rods from the surface of the lining was 35mm. The stiffeners were glued into the grooves using HeliBond high-strength thixotropic cementitious grout.

Surface stiffening and pointing of brick and stone masonry

As mentioned above, tunnel blocks TP2 and TP3, which were built in additionally in 1894, have the lining carried out from ceramic masonry. This lining was disturbed only on the surface. It was therefore necessary to control the water jet pressure and the setting of the jet during the rinsing process. Loosening of the sound mortar and deterioration of the masonry had to be



Obr. 9 Finální pohled na nově vybetonované opěry v pásu č. TP6
Fig. 9 Final view of the newly cast concrete sidewall in block TP6

Povrchové zpevnění a spárování cihelného a kamenného zdiva

Jak už bylo zmíněno dříve, tunelové pásy TP 2 a TP3, vestavěné dodatečně v roce 1894, mají obezdívku provedenou z keramického zdiva. Toto ostění bylo narušené jen povrchově. Bylo proto nezbytné při oplachu kontrolovat tlak vodního paprsku a nastavení trysky. Nesmělo dojít k rozvolnění zdravé malty a znehodnocování zdiva. Z ostění tak byla odstraněna pouze degradovaná spárovací malta, produkty spalín a ostrůvky mechu. Očištěné ostění bylo nově přespárováno. Nový spárovací materiál musel splňovat dostatečnou objemovou roztažnost a vodonepropustnost. Finální úpravou zde byla vrstva zpevňujícího hydrofobizačního silikátového nástřiku. Ten mohl být aplikován pouze na povrch s nízkým obsahem soli. Dále nesměl povrch obsahovat znečišťující složky, které by zhoršovaly difuzní vlastnosti zdiva. Aplikace proběhla na zdivo při jeho vlhkosti maximálně 8 %.

Nevelké průsaky klenbou byly řešeny těsnící dvoustupňovou injektáží přes injektážní pakry. V prvním kroku došlo k aplikaci dvousložkové pryskyřice. V druhém kroku bylo ostění injektováno nízkoviskózním metakrylátovým gelem. Tím bylo garantováno kvalitní utěsnění lokálních průsaků.

ZÁVĚR

Rekonstrukce tunelu Sedlejšovice proběhla bez větších komplikací a v době zpracování článku se stavba připravuje ke kolaudačnímu řízení. Drobné problémy vyvstaly jen na počátku prací při výměně kamenného ostění opěr. Určitou dobu trvalo, než si zhotovitel rekonstrukce osvojil navrženou technologii a projektant vyladil přístup k navrženým detailům sanace. Za kuriózní lze považovat situaci, kdy stavební firmě vznikl problém zakoupit slámu pro zhotovení navržené rubové drenáže. Sláma byla nedostatkovým materiálem, protože téměř každý oslovený zemědělec jí měl jen tolik, kolik potřeboval pro svou vlastní potřebu a nebyl ochotný ji prodat. Naštěstí se našly výjimky, které pár balíků stavbě přenechaly. To však byly v celkovém měřítku rekonstrukce jen malé problémy a ty byly zdárně překonány.

Ing. MIROSLAV LIPKA, mlipka@amberg.cz,
AMBERG Engineering Brno, a.s.

Recenzovali / Reviewed: prof. Ing. Josef Aldorf,
Ing. Pavel Polák

Príspevek Návrh a realizace rekonstrukce tunelu Sedlejšovice vznikl za podpory Technologické agentury ČR v rámci řešení projektu TA 3030851.



Obr. 10 Východní portál a příportálový úsek tunelu zajištěné přikotvenou dvouzávitovou drátěnou sítí Maccafferri

Fig. 10 Eastern portal and pre-portal tunnel section stabilised by the anchored Maccafferri wire mesh

prevented. For that reason only degraded jointing mortar, products of combustion and mossy islets were removed. The cleaned lining was repointed. The new jointing material had to meet requirements for sufficient cubic expansion and water impermeability. The final treatment lied in a layer of reinforcing hydrophobisation silicate spray. It was possible to apply it only to a surface with low salt content. In addition, the surface was not allowed to contain polluting components deteriorating the diffusion properties of the masonry. The spray was applied to the masonry when its maximum dampness did not exceed 8%.

Minor seepage through the vault was solved by two-step injecting grout through packers. In the first step two-component resin was applied. In the second step, low-viscosity methacrylate gel was injected into the lining. In this way the quality sealing of local seepage was guaranteed.

CONCLUSION

The tunnel Sedlejšovice reconstruction was carried out without more significant complications and the construction was being prepared for the final inspection at the moment of the preparation of this paper. Minor problems happened only at the beginning of the work during exchanging the stone masonry of the sidewalls. It took some time before the contractor for the reconstruction acquired the proposed technology and the designer adjusted the approach to the details proposed for the rehabilitation. The situation when the problem with purchasing the straw for the construction of the outer side drainage developed can be considered as a curiosity. The straw was a shortage material because nearly each addressed farmer had so much straw he needed for his need and was not willing to sell it. Fortunately, exceptions which surrendered several bales to the project were found. But these problems were small on the overall scale and were successfully overcome.

Ing. MIROSLAV LIPKA, mlipka@amberg.cz,
AMBERG Engineering Brno, a.s.

The paper and realisation of the Sedlejšovice tunnel reconstruction originated with the support of the Technology Agency of the Czech Republic within the framework of the solution to the TA 3030851 project.