NOVÝ ŽELEZNIČNÍ TUNEL DEBOREČ BUDOVANÝ V RÁMCI MODERNIZACE TRATI V ÚSEKU SUDOMĚŘICE – VOTICE NA 4. KORIDORU

DEBOREČ – A NEW RAILWAY TUNNEL CONSTRUCTED WITHIN THE FRAMEWORK OF MODERNISATION OF TRACK IN SUDOMĚŘICE – VOTICE RAILWAY SECTION, ON RAIL CORRIDOR NO. 4

TOMÁŠ JUST

ABSTRAKT

Modernizovaná část 4. železničního koridoru v úseku Sudoměřice – Votice představuje 17 km nově budované dvoukolejné trati umístěné převážně v nové trase. Vzhledem k členitosti terénu a optimalizaci trasování je součástí stavby mnoho umělých staveb včetně 20 železničních mostů, 7 silničních nadjezdů a dvou tunelů Mezno a Deboreč. V minulém čísle časopisu Tunel (3/2019) byl publikován článek [5]. Uvedený článek přinesl základní informace o budovaném novém železničním dvoukolejném tunelu Deboreč a podrobně se věnoval prováděnému geotechnickému monitoringu (GTM) i popisu zastižených hydrogeologických podmínek. Tento příspěvek se proto zaměřil zejména na popis návrhu projekčního řešení, jeho optimalizaci v průběhu tvorby realizační projektové dokumentace (RDS) a rovněž shrnul poznatky z dosavadního průběhu prací realizovaných k 31. 8. 2019. K tomuto datu byly vyhloubeny a zajištěny stavební jámy obou portálů a z výjezdového (pražského) portálu je vyraženo a primárním ostěním zajištěno 336 m tunelu v kalotě a 290 m v jádře.

ABSTRACT

The part of the railway corridor No. 4 in the Sudoměřice – Votice track section being modernised represents 17km of newly constructed double-rail track located mostly on a new route. With respect to the rugged terrain and the optimisation of the track delineation, the project comprises many artificial structures including 20 railway bridges, 7 railway fly-overs and two tunnels, Mezno and Deboreč. The paper concerning one of the structures was published in the last issue of TUNEL journal (3/2019). The paper brought basic information about the new double-rail tunnel, Deboreč, and dealt in detail with the geotechnical monitoring (GTM) being conducted, as well as description of the hydrogeological conditions encountered. For that reason, my paper has focused itself first of all on the description of the proposal for the design solution, its optimisation during the course of the development of the detailed design (design of means and methods) and also summarised the knowledge gathered during the course of the work carried out before 31st August 2019. As of this date, construction pits for both portals have been excavated and stabilised and 336m of the tunnel top heading and 290m of the bench have been excavated from the exit (Prague) portal respectively, and supported with a primary lining.

ÚVOD

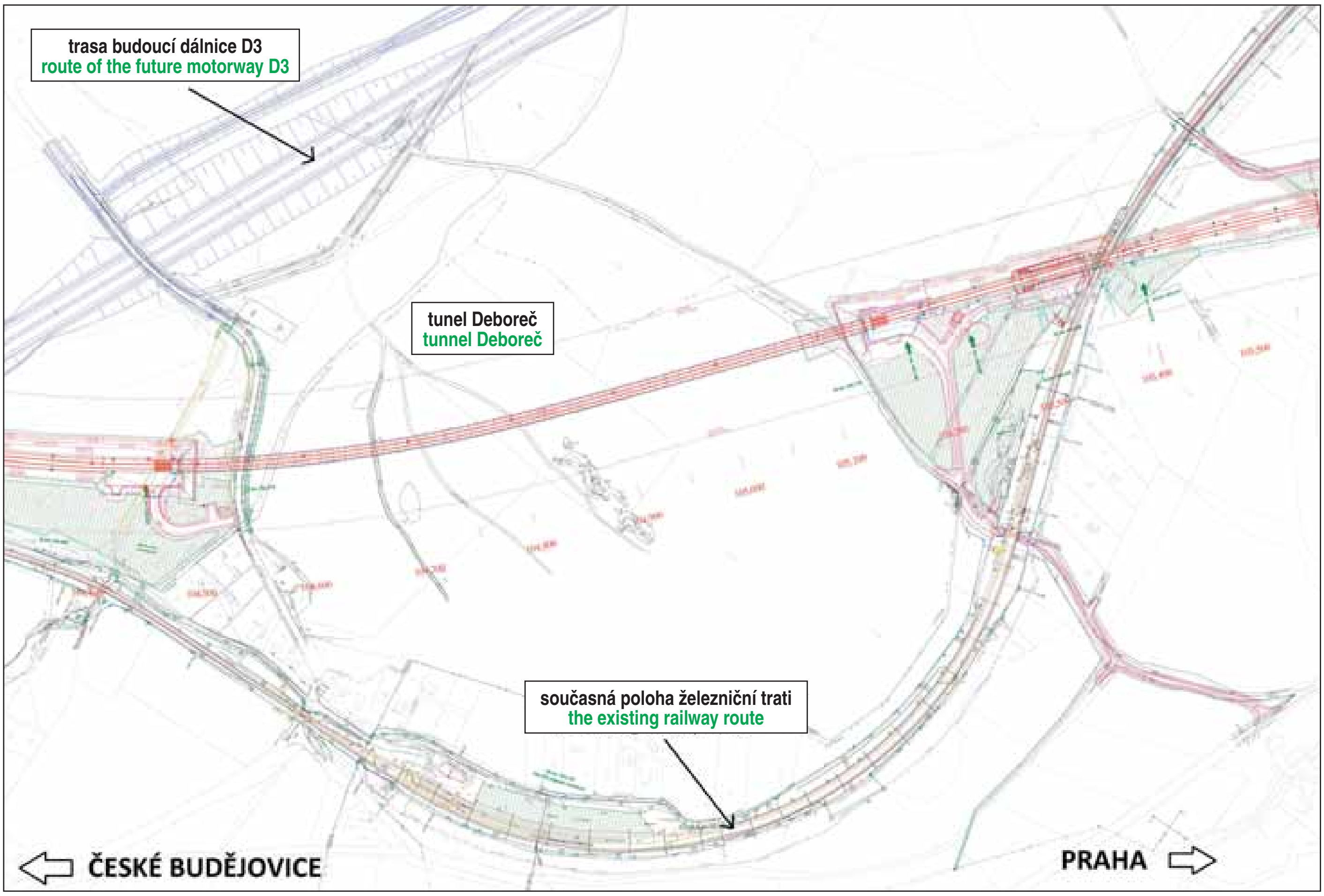
Nový dvoukolejný železniční tunel Deboreč má celkovou délku 660 m. Ražená část tvoří 562 m a dvě 49 m dlouhé hloubené části jsou umístěné při obou portálech v prostoru stavební jámy. Směrově je osa tunelu vedena v první polovině v levém oblouku o poloměru 1400 m a následně v přímé linii. Půdorys tunelu je znázorněn na obr. 1. Tunel v celé délce klesá ve sklonu 10,57 ‰ a 11,00 ‰. Podélný řez tunelem je znázorněn na obr. 2. Průjezdný průřez v tunelu je stanoven jako sdružený tunelový průjezdný průřez pro elektrizovanou trať. Osová vzdálenost kolejí je 4000 mm. Konstrukce ostění tunelu je dvouplášťová s mezilehlou hydroizolací z PVC fólie. Tloušťka primárního ostění závisí na třídě výrubu a pohybuje se v rozsahu 150–400 mm. Minimální tloušťka definitivního ostění ražené části tunelu je 350 mm a 600 mm u hloubených tunelů. Vzorový příčný řez tunelem na patkách je na obr. 3. V tunelu jsou navrženy záchranné výklenky šířky 2000 mm, výšky 2200 mm a hloubky 750 mm. V blízkosti obou portálů bude vybudována přístupová komunikace s nástupní plochou pro záchranné složky. V tunelu bude po pravé straně veden požární suchovod s přípojným místem v šachtě před vjezdovým portálem tunelu, kde je situována i požární nádrž.

Drážní staničení trasy vzrůstá od Českých Budějovic k Praze, přičemž ražba tunelu je vedena od výjezdového portálu opačným směrem. Proto je pro ražbu tunelu zavedeno staničení v tunelových metrech (TM). Tunel je ražen dovrchně Novou rakouskou tunelovací

INTRODUCTION

The total length of the new double-rail Deboreč railway tunnel amounts to 660m. The mined part is 562m long; two 49m long cut-and-cover parts are located at both portals, in the spaces of the construction pits. Directionally, the tunnel centre line in the first half is on a left-hand curve with the radius of 1400m and the next line is straight. The tunnel ground plan is presented in Fig. 1. The tunnel descends throughout its length at the gradients of 10.57‰ and 11.00‰. The tunnel longitudinal section is presented in Fig. 2. The clearance profile is designed as a combined tunnel clearance profile for electrified track. The track centre distance is 4000mm for the straight section. Double-shell lining with an intermediate PVC waterproofing membrane is designed. The thickness of the primary lining depends on the excavation support class; it varies within the range of 150–400mm. The final lining of the mined part of the tunnel is 350mm thick as the minimum, whilst the thickness of 600mm is designed for the cut-and-cover parts. A typical cross-section of the tunnel on footings is presented in Fig. 3. Safety recesses 2000mm wide, 2200mm high and 750mm deep are designed for the tunnel. An access road with a mustering area for rescue units will be established in the vicinity of both portals. The dry fire main will be led on the right side. The connection point will be in a manhole in front of the tunnel entrance portal, where a fire protection reservoir is also situated.

The railway track chainage grows from České Budějovice towards



Obr. 1 Situace stavby, zadávací dokumentace, SUDOP PRAHA
Fig. 1 Construction site layout, tender documents, SUDOP PRAHA

metodou (NRTM). Investorem stavby „Modernizace trati Sudoměřice – Votice" je SŽDC s.o., generálním dodavatelem celé stavby je společnost OHL ŽS, a.s. Jako zhotovitel prací na tunelu Deboreč byla vybrána společnost TUBAU a.s. a zhotovitel realizační projektové dokumentace společnost MPI projekt a.s. Stavba je realizována podle smluvních podmínek FIDIC – Červená kniha.

POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Stavební jámy vjezdového a výjezdového portálu

Stavební jámy obou portálů byly v dokumentaci pro stavební povolení (DSP) navrženy obdobným způsobem. Odtěžování stavební jámy probíhá po etážích za současného zajišťování stability svahů stříkaným betonem s výztužnou sítí a kotvením hřebíky zaháněnými do vrtů vyplněných cementovou zálivkou. Sklony svahů stavební jámy jsou s ohledem na výsledky IG průzkumu navrženy jako svahy dočasné tak, aby byla zajištěna jejich stabilita po dobu výstavby tunelu. Svahy, které nebudou zpětně zasypány, jsou provedeny v definitivním sklonu jako svahy trvalé. Stavební jáma je v prostoru hloubených tunelů pažena kotveným záporovým pažením z ocelových válcovaných profilů I 360 osazených do vrtů Ø 600 mm. Při hloubení jámy se za příruby odkrytých válcovaných profilů osazuje vodorovné pažení tvořené dřevěnými pažinami. V předepsaných úrovních, daných statickým výpočtem, se provádí kotvení zápor předpínanými lanovými kotvami přes ocelové převázky osazené ve vodorovném směru před vnitřní přírubu válcovaného I profilu.

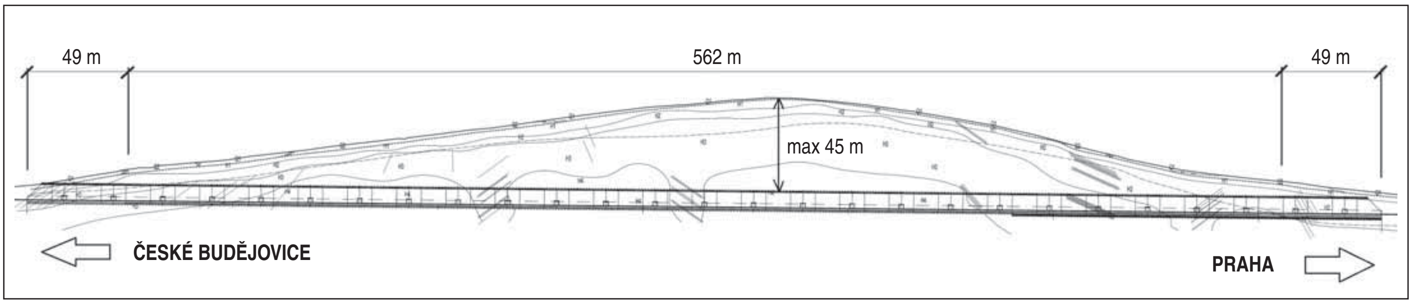
V rámci tvorby RDS byly navrženy, projednány a přijaty drobné optimalizace výše popsaného technického řešení. Tvar a koncepce zajištění stavebních jam zůstaly zachovány. Změny jednotlivých prvků a také úpravy jejich geometrie se týkaly:

Prague. The tunnel excavation proceeds from the exit portal, in the opposite direction. For that reason chainage measured in tunnel metres (TM) is introduced for the tunnel excavation purpose. The tunnel is being excavated uphill using the New Austrian Tunnelling Method (NATM). The project owner for the "Modernisation of the Sudoměřice – Votice rail line" is SŽDC s.o. (Railway Infrastructure Administration, state organisation), OHL ZS, a.s., is the general contractor for the whole project. TUBAU, a.s., was chosen as the contractor for the Deboreč tunnel; MPI Projekt, a.s., was chosen as the contractor for the detailed design. The contract is realised in compliance with the FIDIC – Red Book contractual conditions.

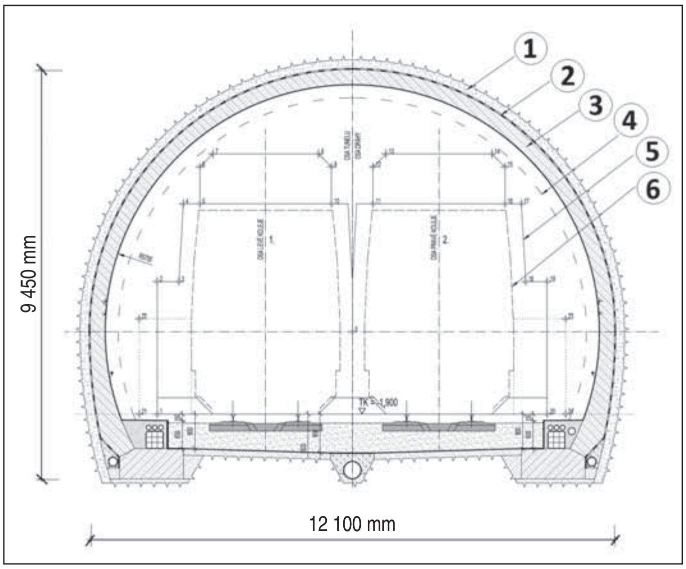
DESCRIPTION OF TECHNICAL SOLUTION

Construction pits for the entrance and exit portals

The construction pits for both portals were designed in the final design similarly. The construction pit is excavated at stages, with concurrent stabilisation of the slopes with shotcrete, welded mesh and nails driven into boreholes filled with cement grout. Slopes of the construction pit are designed, taking into consideration the results of the EG survey, as temporary slopes so that their stability is ensured during the tunnel construction period. The slopes which will not be backfilled are carried out as definite ones. The construction pit in the space of cut-and-cover tunnels is braced by anchored soldier beam and lagging walls formed by I 360 rolled-steel sections inserted into boreholes Ø 600mm. Horizontal bracing formed by wooden lagging is placed behind the flanges of the exposed rolled-steel sections during the pit excavation. Anchoring of the soldier beams with pre-tensioned cable anchors passing through steel walers installed



Obr. 2 Podélný řez tunelem, zadávací dokumentace, SUDOP PRAHA
Fig. 2 Longitudinal section through the tunnel, tender documents, SUDOP PRAHA



Obr. 3 Vzorový příčný řez tunelu v přímé linii, RDS, MPI projekt
Legenda: 1 – primární ostění SB C20/25; 2 – hydroizolační souvrství; 3 – definitivní ostění železobeton C30/37-XC1, XF1, XA1; 4 – pojistný prostor 300 mm; 5 – sdružený tunelový průřez dle ČSN 737508; 6 – vztažná linie kinematických obrysů pro vozidla GC
Fig. 3 Typical cross-section through tunnel on straight line, detailed design, MPI Projekt
Legend: 1 – primary lining SC20/25; 2 – waterproofing layers; 3 – final lining, reinforced concrete C30/37-XC1, XF1, XA1; 4 – safety margin space 300mm; 5 – conjugate tunnel cross-section according to ČSN 737508; 6 – reference line for cinematographic contours for GC cars

- úpravy počtu kotevních úrovní;
- úpravy počtu pramenců a délky jednotlivých kotev;
- změny profilu tyčí svislých prvků záporového pažení, vyjma portálové stěny jsou ostatní stěny kotveny bez použití kotevních převázek, a to přímo přes jednotlivé zápory vytvořené ze složeného prutu z dvojice tyčí IPE 300;
- úpravy délky a rozteče svislých prvků záporového pažení;
- změny (zvětšení) profilu vrtu pro zápory.

Účelem navržených změn bylo zejména zkrácení doby výstavby.

Ražený tunel

V DSP bylo pro geotechnické podmínky zastižené v rámci podrobného geotechnického průzkumu stanoveno pět základních technologických tříd výrubu NRTM (2, 3, 4, 5a, 5b). Pro každou vystrojovací třídu byly stanoveny základní vystrojovací prostředky:

- stříkaný beton SB25 (C20/25) tloušťky 150, 200, 250, 300 a 400 mm;
- výztužné příhradové oblouky výšky 100, 130, 180, 230 a 300 mm;
- svařované výztužné sítě;
- příložky různých profilů a délek;
- svorníky různých typů a délek (HUS, SN, IBO);

horizontally before the internal flanges of the rolled-steel I section is carried out at the prescribed levels.

Minor optimisations of the above-mentioned technical solution were proposed, discussed and adopted within the framework of the development of the final design (design of means and methods). The geometry and concept of the stabilisation of the construction pits remained unchanged. Changes in individual elements and modifications of their geometry related to:

- changes in the number of anchoring levels;
- changes in the number and lengths of strands in individual anchors;
- a change in the profile of the soldier beams, with the exception of the portal wall, the other walls are anchored without using anchored walers, directly through individual composite soldier beams formed by pairs of IPA 300 sections;
- modification of the lengths and spacing of vertical elements of the soldier beams and lagging walls;
- changes (enlargement) in the diameter of the boreholes for soldier beams.

The purpose of the proposed changes was first of all to reduce the construction period.

Mined tunnel

Five basic NATM excavation support classes (2, 3, 4, 5a, 5b) were determined for the geotechnical conditions encountered at the final design level within the framework of the detailed geotechnical investigation. The following means of support were determined for each excavation support class:

- shotcrete SC25 (C20/25) 150, 200, 250, 300 and 400mm thick;
- reinforcing lattice girders 100, 130, 180, 230 and 300mm high;
- welded mesh;
- straps with various cross-sections and lengths;
- various types and lengths of rock bolts (HUS, SN, IBO);
- needles driven ahead of excavation face;
- micropiles;
- jet grouting.

The scope of application of the individual support elements depends on the geotechnical prognosis for stability of excavation and results of geotechnical measurements conducted during the course of the construction.

Minor optimisations and modifications were adopted, first of all for excavation support class 5, within the framework of the development of the design of means and methods. As opposed to the previous design degree, the 119m long class 5b application section was divided into 47m long and 72m long 5b1 and 5b2 application sections, respectively. Class 5b1 differs from class 5b2 by the omission of the vertical excavation sequence (side drifts and central pillar) in the top heading. In addition, the system of drilling for the canopy tube pre-support was modified for class 5b to drilling from the so-called "chapels", i.e. drilling from gradually expanded excavation. Horizontal jet grouted pillars designed to stabilise the

- předrážené jehly;
- mikropiloty;
- trysková injektáž.

Rozsah použití jednotlivých vystrojovacích prvků je závislý na geotechnické prognóze stability výrubu a výsledcích geotechnických měření během stavby.

V rámci tvorby RDS byly navrženy, projednány a přijaty drobné optimalizace a změny zejména pro vystrojovací třídu 5. Oproti předchozímu stupni došlo k rozdělení třídy 5b délky 119 m na třídu 5b1 délky 47 m a třídu 5b2 délky 72 m. Třída 5b1 se liší od 5b2 vypuštěním vertikálního členění výrubu v kalotě. Dále byl pro třídu 5b upraven způsob vrtání mikropilotového deštníku z tzv. kapliček, tedy postupně se rozšiřujícího výrubu. Zámkové pilíře z tryskové injektáže pro zajištění stability výrubu v kalotě byly nahrazeny 24 kusy sklolaminátových injektovaných kotev Durglass typu P30x5 délky 12 m. Instalace kotev je navržena každých 8,1 m, tedy vždy po dokončení ražby jedné kapličky pod ochranou mikropilotového deštníku. Prognóza zastoupení jednotlivých vystrojovacích tříd byla převzata z předchozího stupně dokumentace.

INFORMACE Z PRŮBĚHU REALIZACE

Přípravné práce

Předpokládaný termín zahájení prací a předání staveniště byl v soutěžních podmínkách (tedy i v nabídce zhotovitele) stanoven na 1. 9. 2017. Tento termín zajišťoval potřebný čas pro nezbytné předstihové práce (uzavření nájemních smluv s vlastníky pozemků nutných pro vybudování stavebních dvorů a staveništních komunikací, kácení mimolesní i lesní zeleně apod.). Výběr zhotovitele byl poznamenán průtahy a předání první etapy a rozhodující části staveniště proběhlo až 24. 4. 2018. Toto zpoždění mělo dopad zejména na zajištění pronájmů pozemků pro dočasné zábory, které byly ve většině případů zemědělsky využívány, a proto bylo nutné vyčkat do sklizně, a to i vzhledem k zemědělským dotačním programům. Náročné a komplikované bylo i dohledání všech vlastníků těchto pozemků a uzavření nájemních smluv. V rámci přípravy zakázky byly totiž uzavřeny pouze smlouvy o smlouvách budoucích a souhlasy s provedením stavby. Sjednání podmínek pronájmu, včetně ceny, bylo již věcí zhotovitele. Potřebné pozemky a staveništní komunikace k výjezdovému portálu tunelu Deboreč byly připraveny do konce července 2018.

V dostatečném předstihu před vlastní stavbou bylo nutné rozběhnout procesy pro vybudování staveništní přípojky VN, povolení trhacích prací velkého rozsahu, povolení stavby zařízení staveniště a povolení vypouštění důlních vod.

Výkop a zajištění stavebních jam portálů tunelu

Zemní práce na výjezdovém portále byly zahájeny 30. 7. 2018. V souběhu s postupným prohlubováním stavební jámy probíhalo i odtěžování navazujícího zářezu železniční trati a budoucí obslužné komunikace. Nejprve byla odtěžena svahovaná horní partie stavební jámy na úroveň hlav kořenových zápor. Svahy stavební jámy byly zajištěny KARI sítí a stříkaným betonem. Pro nástřik byla zvolena prefabrikovaná směs a suchý způsob nástřiku. Obvod stavební jámy byl z vnější strany ochráněn vybudovaným zemním valem a drátěným oplocením. Další etapou prací bylo vrtání a osazovaní svislých prvků kořenových zápor v prostoru stavební jámy budoucího hloubeného tunelu. Kořeny zápor byly provedeny z prostého betonu, zbylá část vrtu byla až k povrchu zasypána stabilizovaným materiálem z vývrtu. Při následném prohlubování byl prostor mezi záporami postupně vyplňován dřevěnými pažinami a zápory aktivovány v navržených kotevních úrovních předpjatými pramencovými kotvami. V rámci realizace stavební jámy portálu byl pro zajištění ražby úvodních metrů tunelu proveden mikropilotový deštník délky 12 m vrtaný

excavation in the top heading were replaced with 24 pieces of 12m long, P30x5 type, Durglass groutable glassfibre reinforced plastic anchors. The anchors are designed to be installed every 8.1m, i.e. always after completion of excavation of one “chapel” under the protection of the installation of the canopy tubes. The prognosis for the representation of individual excavation support classes was borrowed from the preceding design degree.

INFORMATION FROM THE PROGRESSING REALISATION

Preparation work operations

The assumed deadline for the work commencement and handing the construction site over to the contractor was set in the competition conditions (therefore also in contractor’s tender) to 1st September 2017. This term provided the time required for the advanced works (closing lease agreements with owners of land necessary for developing of construction yards and construction site roads, cutting and felling non-forest and forest greenery etc.). The contractor selection was affected by delays. The handing of the first stage and the deciding part of the construction site over took place as late as 24th April 2018. This delay had an impact first all on ensuring rentals of plots of land for temporary use for construction, which had been used agriculturally, therefore it was necessary to wait until harvest, even with respect to agricultural funding programmes. Even finding of all owners of the plots of land and closing lease agreements was complicated. The reason was that the only preliminary agreements of lease and agreements with the construction works were concluded within the framework of the construction preparation. Negotiating the lease conditions including costs was already the contractor’s business. The plots of land and construction site roads to the exit portal of the Deboreč tunnel were prepared before the end of July 2018.

It was necessary to start the processes for building a high voltage connection line and obtaining permission for large-scale blasting, construction permission, and permission for construction site facilities and disposing of mine water.

Excavation and stabilisation of construction pits for tunnel portals

The earthwork operations commenced on 30th July 2018. The gradual excavation of the adjoining cutting for the railway track and the future service road proceeded concurrently with the gradual deepening of the construction pit. The sloped upper part of the construction pit was excavated first, up to the level of the heads of the root-strengthened soldier beams. Slopes of the construction pit were stabilised with KARI welded mesh and shotcrete. A prefabricated mixture for the dry process was chosen for the shotcrete application. The circumference of the construction pit was protected from the external side by an earth embankment and chain link fence. In the next work stage, drilling and installation of vertical elements of the root-strengthened soldier beams was carried out in the space of the construction pit for the future cut-and-cover tunnel. The roots of the soldier beams were wrapped by unreinforced concrete, the remaining part of the borehole was backfilled up to the surface with the stabilised material obtained during drilling. During the course of the subsequent deepening, the space between the soldier beams was step-by-step filled with wooden lagging and the soldier beams were activated at the designed anchoring levels with pre-tensioned stranded anchors. Canopy tube pre-support 12m long was carried out within the framework of the work on the construction pit for the purpose of stabilising the initial metres of the tunnel excavation. Holes for the tubes were drilled in parallel with the tunnel centre line (without the fan-shaped opening). The sloped walls in the space in front of the cut-and-cover tunnel (with the exception of the walls braced by the soldier beams and lagging) were stabilised similarly to rovnoběžně s osou tunelu (bez rozevření do vějíře). Svahované stěny v prostoru před hloubeným tunelem (mimo záporové pažení) byly zajištěny obdobně jako horní partie KARI sítí a stříkaným betonem doplněným o kotevní trny (hřebíky). Výkop a zajištění stavební jámy výjezdového portálu byly dokončeny do 30. 11. 2018 a následně byly zahájeny přípravné práce pro ražbu tunelu.

Stavební jáma vjezdového portálu byla budována obdobně jen s drobnými rozdíly. Z důvodu umístění horní hrany portálové stěny v blízkém souběhu s místní komunikací bylo mezi stavební jámu a komunikaci osazeno z bezpečnostních důvodů silniční svodidlo JSEM-2/H2 v délce 100 m. Kořenové zápory zde byly vrtány ve dvou etapách. První z úrovně upraveného původního terénu podél komunikace, kde byly provedeny zápory portálové stěny a zbylé zápory z úrovně dna horní svahované partie. V tomto případě byl vrtán, pro zajištění bezpečného průchodu ražby pod silniční komunikací, mikropilotový deštník délky 18 m. Práce na hloubení a zajištění stavební jámy vjezdového portálu byly prováděny v klidnějším tempu přizpůsobeném jiným prioritám v rámci koordinace výstavby v období od 22. 11. 2018 do 6. 7. 2019.

Ražba tunelu z výjezdového portálu

Před vlastní ražbou tunelu bylo vybudováno nezbytné zařízení staveniště. Na dočasně pronajatých plochách je umístěno zázemí stavby složené z kancelářských a sociálních kontejnerů, parkovací plochy, venkovní skaldové plochy, plochy pro mezikládku rubaniny a drtící linku. V trvalém záboru na půdorysu stavební jámy a části navazujícího zářezu trati jsou kontejnerové sklady, venkovní skladové plochy, havarijní sklad, opravárenská hala, elektrodílna, ventilátor, plocha pro mytí mechanizace a pod úrovní terénu zásobník technologické vody a sestava pro čištění a úpravu vypouštěné vody. Vzhledem k nemožnosti využití existujícího zdroje vody je technologická voda navážena a pitná zajištěna formou balené vody. Zdroj elektrické energie je z vybudované staveništní kioskové trafostanice 630 kVA. Beton je dovážen z betonárky ve Voticích s dojezdovou vzdáleností

the upper part, with KARI welded mesh and shotcrete, supplemented by anchoring nails. The excavation of the construction pit for the exit portal was finished before 30th November 2018 and preparation operations for the tunnel excavation commenced subsequently.

The construction pit for the entrance portal was built similarly, only with minor differences. For safety reasons, a 100m long JSEM-2/H crash barrier was installed between the construction pit and the local road running close, in parallel with the upper edge of the portal wall. Drilling for the root-strengthened soldier beams was carried out at two stages. The first one from the level of the levelled original terrain along the road, where the soldier beams of the soldier beam – lagging portal walls were installed; holes for remaining soldier beams were drilled from the level of the bottom of the upper sloped part. In this case, boreholes were carried out for 18m long canopy tube pre-support designed to ensure safe passage under the road. The work operations on the excavation and stabilisation of the construction pit for the entrance portal proceeded at a slower pace, adapted to other priorities within the framework of the coordination of the construction activities in the period between 22nd November 2018 and 6th June 2019.

Tunnel excavation from the exit portal

The required site facilities were built prior to the commencement of tunnel excavation. Office and social containers, a parking area, an external storage area and an area for intermediate tunnel muck stockpile and a crushing plant were installed on the temporarily leased land. Container stores, external storage areas, an emergency warehouse, a repair and maintenance shed, an electrician workshop, a fan, an equipment washing area and, under the terrain level, an industrial water reservoir and a discharge-water cleaning and treatment facility are placed on the land within the ground plan of the construction pit and a part of the adjoining cutting for the track permanently acquired for construction. Industrial water is brought by tankers and drinking water is ensured in the form of bottled water. Electric power is supplied from a 630kVA transformer kiosk built on

foto Jiří Bednařík photo Jiří Bednařík

Obr. 4 Pohled na výjezdový portál včetně umístění zařízení staveniště a současnou polohu železniční trati

Fig. 4 View of the exit portal inclusive of location of construction site and current location of the railway track

foto Tomáš Just photo Tomáš Just

Obr. 5 Vrtání mikropilotového deštníku v tunelu
Fig. 5 Drilling for canopy tube pre-support in the tunnel

foto Milan Kössler photo Milan Kössler

Obr. 6 Pohled na čelbu ve staničení 127,3 TM
Fig. 6 View of excavation face at chainage TM 123.7

13 km. Pohled na výjezdový portál včetně umístění zařízení staveniště je na obr. 4.

Ražba tunelu byla zahájena z výjezdového portálu 19. 1. 2019. Na základě znalosti geologie ověřené při hloubení stavební jámy se postupovalo podle VT5b1. Nejprve byly instalovány čelbové laminátové kotvy a následně byly uvolněny lanové kotvy a demontovány převázky v profilu kaloty. Poté byl vybourán prostup záporovou portálovou stěnou. Ražba ve VT5b1 probíhala pod ochranou mikropilotových deštníků tvořených z 33 ks mikropilot z injektovaných trub Ø 114/10(8) mm, délky 12 metrů. První deštník byl navrtán souběžně s osou tunelu již při hloubení stavební jámy, další vějíře deštníků byly vrtané z čelby tunelu z postupně se rozšiřujícího profilu, tzv. kapliček s překrytím 4 m – viz obr. 5. Výhodou tohoto řešení je využití celé délky mikropiloty bez nutnosti vyřezávání částí mikropilot zasahujících do profilu tunelu v případě jejich vrtání ze standardního profilu tunelu. Toto řešení je rovněž bezpečnější, protože nevzniká nezajištěný prostor nad hlavami pracovníků v případě vyřezávání mikropilot. Negativem pak je nutnost výroby většího počtu příhradových rámů (BTX), které umožní postupné rozšiřování výrubu a také zvětšení kubatury výrubu a stříkaného betonu primárního ostění. V tomto případě byly použity tři typové sady rámů BTX doplněné o vkládané distanční prvky tří velikostí. Celkem bylo z tunelu navrtáno 6 vějířů deštníků a ve VT5b1 bylo vyraženo prvních 59 m od portálu. V této vystrojovací třídě byl profil horizontálně členěn na kalotu, jádro a dno s protiklenbou. Celý profil byl uzavírán v primárním ostění zpočátku po 8,1 m, později v příznivější geologii maximálně po 16,2 m. V následujících vystrojovacích třídách již byl ražen pouze profil na patkách, horizontálně členěný na kalotu a jádro. Postupně se přecházelo přes vystrojovací třídy VT5a, VT4 a VT3 až do VT2 a zpět na VT3 a VT4. V tab. 1 je znázorněno skutečné zastoupení vystrojovacích tříd a jejich porovnání s předpokladem dle projektu v popisovaném úseku vyraženém do 31. 8. 2019. Jsou zde uvedeny také informace o průměrných délkách záběrů a průměrné rychlosti ražby v jednotlivých VT.

V průběhu ražby byly zastiženy zvětralé až navětralé pararuly pevnostní třídy R4 až R5, místy až R6. Hornina byla silně rozpukaná se směrem sklonu foliace cca 270–300° a nepříznivým úklonem vrstev cca 40–45° směrem ven z čelby. V oblasti geologických poruch docházelo k občasnému nežádoucímu vyjíždění bloků horniny z nezajištěného výrubu. S přibývajícími metry ražeb se zvyšovala pevnost horniny, zastižené pararuly byly mírně zvětralé, postupně až zdravé pevnosti R4 až R3. Od staničení TM 183 do TM 302 byly zastiženy pevné kompaktní horniny prezentované kvarcity pevnostní třídy R2. Od TM 102 bylo k rozpojování horniny využíváno trhacích prací. Na obr. 6 je zachycena čelba v kalotě ve staničení 127,3 TM.

the site. Concrete is brought from a batching plant in Votice located at the access distance of 13km. A view of the exit portal including the location of the construction site is presented in Fig. 4.

The tunnel excavation commenced from the exit portal on 19th January 2019. Taking into consideration the knowledge of geology verified during the excavation of the construction pit, the excavation proceeded in compliance with requirements for the ESC5b1 excavation support class. In the first step, glassfibre reinforced plastic anchors were installed into the excavation face. Subsequently, the cable anchors were loosened and the walers within the top heading cross-section were dismantled. An opening was cut through the soldier beam and lagging wall. The excavation categorised as the ESC5B1 proceeded under the protection of umbrellas, canopy tube pre-support, consisting of 33 grouted canopy tubes Ø 114/10(8)mm, 12m long. The holes for the first umbrella were driven in parallel with the tunnel centre line already during the excavation of the construction pit. Drilling for the next umbrella fans was carried out from the face of the tunnel excavation, from the gradually expanded profile, the so-called “chapels”, with 4m overlaps – see Fig. 5. The advantage of this solution is that the whole length of the tube is used, without necessity for cutting away parts of the tubes extending into the tunnel profile in the case of drilling for them from the standard tunnel profile. This solution is, in addition, safer because no unsupported space originates above the heads of workers in the case of necessity for cutting away parts of the tubes. The negative fact is that a greater number of lattice girders (BTX) are necessary to make the gradual expansion of the excavation possible; in addition, the volumes of excavation and shotcrete for the primary lining are greater. In this case, three type sets of BTX lattice girders supplemented by three sizes of spacer elements were used. In total, drilling for 6 fans of tubes was carried out in ESC5b1 class in the initial 59m long section behind the portal. In this excavation support class, the excavation sequence was divided horizontally into top heading, bench and invert. The whole profile was closed by the primary lining, in the beginning in 8.1m long sections, later, in more favourable geology, in 16.2m long sections as the maximum. In the subsequent excavation support classes, only a profile of tunnel on footings was driven, with the horizontal excavation sequence consisting of top heading and bench. The excavation gradually proceeded through support classes ESC5a, ESC4 and ESC3 up to ESC2 and back to ESC3 and ESC4. The actual representation of excavation support classes and its comparison with the assumption according to the design in the described section being excavated until 31st August 2019 is presented in Table 1. In addition, the table presents information about average lengths of excavation rounds and average rate of excavation in individual support classes.

Weathered to slightly weathered paragneiss classified as strength

Tab. 1 Porovnání zastoupení vystrojovacích tříd na dosud vyraženém úseku dl. 335 m
Tab. 1 Comparison of representation of excavation support classes on the 335m long, so far finished excavation section

VT	předpokládané zastoupení assumed representation	skutečné zastoupení actual representation	počet záběrů number of pulls	průměrná délka záběru average pull length	průměrný denní výkon average daily excavation rate
5b2 5b2	72 m 72m	0 m 0m	0 0	– –	– –
5b1 5b1	47 m 47m	59 m 59m	63 63	0,94 m 0.94m	0,64 m 0.64m
5a 5a	84 m 84m	43 m 43m	38 38	1,13 m 1.13m	1,26 m 1.26m
4 4	36 m 36m	46 m 46m	34 34	1,35 m 1.35m	2,71 m 2.71m
3 3	72 m 72m	29 m 29m	19 19	1,53 m 1.53m	2,90 m 2.90m
2 2	24 m 24m	158 m 158m	89 89	1,78 m 1.78m	3,22 m 3.22m

Na ražbu tunelu je použita obvyklá stojní sestava tvořená následujícími stroji:

- vrtný vůz ATLAS COPCO BOOMER ROCKET L2C s adaptérem pro vrtání mikropilot;
- tunelbagry LIEBHERR R 934 B Litronic a LIEBHERR R 944 C Litronic s příslušenstvím;
- mobilní pracovní plošina DC16/HL;
- otočný teleskopický manipulátor Manitou MRT 1640;
- kolový kloubový nakladač VOLVO L180H;
- mobilní stříkací stroj MEYCO POTENZA;
- kloubové dempry VOLVO A25D 6x6 TS, A25E 6x6 TS a CAT 725;
- pomocné stroje kompresor INGERSOL, injektážní čerpadla na cementovou a chemickou injektáž.

Předpokládané práce jsou prováděny v nepřetržitém dvousměnném provozu.

Trhací práce

Soubor vstupních hodnot pro trhací práce byl zpracován ve stejnojmenném dokumentu jako součást DSP a zadávací dokumentace. V tomto dokumentu byly stanoveny hodnoty mezní nálože na časový stupeň pro jednotlivé třídy NRTM od 2,4 do 8,0 kg. Tyto hodnoty byly převzaty a zapracovány do generálního projektu trhacích prací, který byl přiložen k žádosti o povolení trhacích prací na místně příslušný Obvodní báňský úřad (OBÚ). Následně OBÚ vydal rozhodnutí o povolení trhacích prací za dodržení podmínek v něm uvedených, mezi které zapracoval rovněž připomínky účastníků řízení. Některé uvedené podmínky měly omezující dopad na plánovaný postup prací. Jednalo se zejména o omezení maximální nálože na jeden časový stupeň na 2,4 kg a omezení na provádění trhacích prací pouze v denních hodinách od 7:00 do 22:00 hod. V důsledku omezení nálože na časový stupeň nebylo možné provádět záběry na délku větší než 1,6 m, a to ani ve vystrojovací třídě 2 umožňující záběr až 2,2 m. Omezení trhacích prací na denní dobu neumožnilo provádět více než 2 záběry za den. Dalšími stanovenými podmínkami, které již neměly nepříznivý dopad na provádění samotné ražby, bylo doplnění objektů k pasportizaci a vodních zdrojů k monitorování nad rámec projektem předpokládané oblasti dosahu účinků trhacích prací (pásmo izoseisty o rychlosti kmitání 5 mm/s). Reálné dosud zaznamenané hodnoty seismických účinků trhacích prací jsou pod 1/10 hodnoty varovného stavu. Rozpojování horniny je prováděno pomocí trhavin Austin Powder (Emulex 1, Emulex 2+ a Austrogel P) a Explosia (Perunit E). Roznět je neelektrický prostřednictvím rozbušek Shockstar TS.

classes R3 to R5, locally even R6, were encountered during the course of the excavation. The rock was heavily fractured with the foliation dipping at ca 270–300° and unfavourable dipping of rack beds ca 40–45° off the excavation face. Sporadic undesirable slipping of rock blocks from the unsupported excavation took place in the area of geological faults. The rock strength increased with the growing metres of excavation; the paragneiss encountered was moderately weathered, gradually even fresh, with the strengths R4 to R3. From chainage TM 183 to TM 302, hard compact rock represented by R2 strength class quartzite was encountered. From TM 102, blasting was used for disintegration of rock. The excavation face at the top heading at chainage TM 127.3 is presented in Fig. 6.

The tunnel was driven using a common set of equipment consisting of the following machines:

- ATLAS COPCO BOOMER ROCKET L2C drill rig with an adaptor for drilling for canopy tubes;
- LIEBHERR R 934 B Litronic and LIEBHERR R 944 C Litronic excavators with accessories;
- DC16/HL mobile mine access platform;
- Manitou MRT 1640 rotary telescopic manipulator ;
- VOLVO L180H articulated wheeled loader;
- MEYCO POTENZA mobile spraying machine;
- VOLVO A25D 6x6 TS, A25E 6x6 TS and CAT 725 articulated dumpers;
- auxiliary machines: compressor INGERSOL, grouting pumps for both cement and chemical grout.

The construction site is operational 24/7 in 2 work shifts.

Blasting operations

The set of input values for blasting operations was prepared in a document of the same name as part of the final design and the tender design. The values of the limit charge weight per delay ranging from 2.4 to 8.0kg were set in this document for individual NATM excavation support classes. These values were taken over and incorporated into the general blasting design, which was attached to the application for blasting permit submitted to the locally relevant Regional Mining Authority (RMA). Subsequently, the RMA issued the blasting permit containing conditions to be observed with comments of parties to the proceedings incorporated in them. Some of the conditions had a restricting influence on the planned rate of excavation. Among them there was, for example, reduction in the maximum charge limit for execution of blasting to 2.4kg per round and restriction of blasting to be carried out only in the daytime from 7:00 am to 22:00 pm. As a result of the reduction of the charge per round it was not possible to increase the excavation round length more than to 1.6m, even not in excavation support class 2 allowing for the round length up to 2.2m. The limitation of blasting operations to the daytime did not allow the tunnellers to carry out more than 2 excavation rounds per day. Other prescribed conditions, which did not have unfavourable influence on the excavation work, comprised an addition of structures to be subjected to a condition survey and water sources to be monitored over the scope of the assumed area of the effect of blasting operations (isoseismal zone of 5mm/s peak particle velocity). The real, until now recorded, values of seismic effects of blasting operations are lower than 1/10 of the value of the warning state. Rock is disintegrated using explosives Austin Powder (Emulex 1, Emulex 2+ and Austrogel P) and Explosia (Perunit E). Shockstar TS non-electric detonators are used for priming.

Geotechnical monitoring

As described above in the abstract, monitoring is mentioned in this paper only briefly with respect to the paper on GTM published in the previous issue of TUNEL journal. Project monitoring is not part of contractor's task. It is provided by the project owner through another

Geotechnický monitoring

Jak již bylo uvedeno v abstraktu, vzhledem k publikovanému článku o GTM v předchozím čísle časopisu Tunel, je v tomto příspěvku monitoring zmíněn jen stručně. Stavební objekt monitoringu není součástí zakázky zhotovitele, ale zajišťuje jej investor prostřednictvím dodavatele SG Geotechnika a.s. Součástí monitoringu je obvyklý rozsah prováděných měření a sledování: měření deformací primárního ostění (konvergenční měření), extenzometrická měření, měření zatížení primárního ostění (tenzometry), inklinometrická měření, geodetické sledování deformací svahů stavebních jam, dynamická a akustická měření (účinky trhacích prací), geodetické sledování povrchu (nivelace), hydrogeologický monitoring, inženýrskogeologické sledování kvality horninového masivu, technický dozor investora, geodetická dokumentace výrubu kaloty (profilace), měření tvaru primárního ostění (skenování), pasportizace okolní zástavby. Výsledky z GTM jsou vyhodnocovány na pravidelných schůzkách rady monitoringu (RAMO) konaných s 14denní četností a v případě potřeby operativně. RAMO je složena ze zástupců investora, projektanta, zhotovitele ražeb a zhotovitele GTM, případně přizvaného specialisty. Cílem je minimalizovat možnost vzniku mimořádných situací, a pokud by nastaly, tak jejich rychlému a odbornému zvládnutí. Na poradách RAMO jsou projednávány a upravovány dílčí nasazení vystrojovacích prvků a doplňkových opatření v jednotlivých VT tak, aby byla ražba efektivní a ekonomická. Všechny aktuální výsledky a dokumentace jsou dostupné všem zainteresovaným účastníkům výstavby on-line v informačním systému GTM BARAB.

ZÁVĚR

Dosavadní zkušenosti z výstavby tunelu Deboreč potvrzují důležitost kvalitní přípravy zakázky. Na straně zadavatele je to dostatečný inženýrskogeologický průzkum, bezvadná zadávací dokumentace, zajištění legislativních požadavků, projednání realizace a souvisejících dopadů se samosprávou obcí, dotčenými organizacemi a vlastníky pozemků. Na straně zhotovitele, po získání zakázky, pak včasné zajištění potřebných povolení, dohod, nájemních smluv a v dnešní době i problematické zajištění potřebných kapacit (personálních, strojních i materiálových) v daném čase.

V době tvorby tohoto příspěvku je vyraženo 60 % délky tunelu a dosavadní výsledky jsou příznivé. Poměr skutečného zastoupení jednotlivých VT oproti prognóze v projektu je posunut směrem k lehčím vystrojovacím třídám. Rovněž chování horninového masivu prezentované měřením deformací na primárním ostění je výrazně nižší oproti předpokladům. Konečné zhodnocení bude možné až po vyražení zbývající části a následném dokončení celého tunelu, což by mělo proběhnout v 2. polovině roku 2020.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

Recenzoval Reviewed: Ing. Vlastimil Horák

contractor, SG Geotechnika a.s. Among others, the monitoring comprises the following usual scope of measurements and observations: measurements of deformations of the primary lining (convergence measurement), extensometer measurements (strain gauges), inclinometer measurements, monitoring of deformations of slopes of construction pits by surveying methods, dynamic and acoustic measurements (effects of blasting operations), monitoring of terrain surface by surveying (levelling), hydrogeological monitoring, engineering geological monitoring of rock mass quality, client's technical supervision, survey documentation of the top heading excavation (profiling), measurements of the primary lining contour (scanning), condition surveying of buildings in the excavation vicinity. GTM results are being assessed at regular meetings of the Monitoring Board (MB) held with the frequency of 14 days or operatively if necessary. The Monitoring Board consists of representatives of the project owner, the contractor for tunnel excavation and the contractor for the GTM, and, if necessary, a specialist invited to the meeting. The objective is to minimise the possibility of development of extraordinary events and, if they take place, to allow for quick and professional coping with them. During the Monitoring Board meetings, partial use of excavation support elements and application of supplementary measures in individual excavation support classes are discussed and modified so that the excavation is effective and economic. All current results and documents are available on-line to all interested construction parties in GTM BARAB information system.

CONCLUSION

Previous experience from the construction of the Deboreč tunnel confirms the importance of good quality preparation of the works. On the project owner side, it is sufficient engineering geological survey, faultless tender design, meeting legislative requirements, timely concluding negotiations about the realisation and relating impacts with self-government of municipalities, affected organisations and land owners. On the contractor's side, after getting the order, it is timely obtaining all permissions, agreements, lease agreements and, today, even the problematic ensuring the required capacities (personal, mechanical and material).

As of the moment of writing this paper, 60 per cent of the tunnel length has been completed and the results obtained to date are favourable. The proportion of the actual representation of individual excavation support classes in comparison with the prognosis in the design is shifted towards lighter classes. Also the rock mass behaviour presented by the measurement of the primary lining deformations is significantly easier in contrast to assumptions. The final assessing will be possible only after the excavation of the remaining part is finished and after the subsequent completion of the whole tunnel, which should take place in the 2nd half of 2020.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

[1] MÁRA, J., KRAMEŠ, M. *Modernizace trati Sudoměřice – Votice, SO 73-25-01, 02, 03 Tunel Deboreč, Technická zpráva, stupeň Projekt, Metroprojekt Praha a.s., 01/2013*

[2] URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice – Votice, SO 73-25-02.1 Tunel Deboreč, Ražba a primární ostění, Technická zpráva, stupeň RDS, MPI projekt s.r.o., 10/2018*

[3] PRŮCHA, P., URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice – Votice, SO 73-25-03.1 Tunel Deboreč, Výkop a zajištění stavební jámy, Technická zpráva, stupeň RDS, MPI projekt s.r.o., 08/2018*

[4] PRŮCHA, P., URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice – Votice, SO 73-25-01.1 Tunel Deboreč, Výkop a zajištění stavební jámy, Technická zpráva, stupeň RDS, MPI projekt s.r.o., 09/2018*

[5] KÖSSLER, M., VÍDEŇSKÝ, A. *Geotechnický monitoring v průběhu hloubení jam a ražby tunelu Deboreč na 4. železničním koridoru, Tunel, ročník 2019, č. 3*