

# GEOTECHNICKÝ MONITORING V PRŮBĚHU HLOUBENÍ JAM A RAŽBY TUNELU DEBOREČ NA 4. ŽELEZNIČNÍM KORIDORU

## GEOTECHNICAL MONITORING DURING THE COURSE OF EXCAVATION OF PORTAL PITS AND DRIVING THE DEBOREČ TUNNEL ON RAILWAY CORRIDOR NO. 4

MILAN KÖSSLER, ALEŠ VÍDEŇSKÝ

### ABSTRAKT

V létě roku 2018 započala modernizace 4. tranzitního železničního koridoru v úseku Sudoměřice u Tábora – Votice v ČR v celkové délce cca 17 km. Dva stavební objekty jsou nové dvoukolejné tunely Deboreč dl. 660 m a Mezno dl. 840 m. Oba tunely jsou budovány konvenčně Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Předmětem tohoto příspěvku je shrnutí dosavadních zkušeností z výstavby tunelu Deboreč. Stavební práce zde byly zahájeny v červenci 2018 hloubením pažené stavební jámy výjezdového portálu. Samotná ražba započala v lednu roku 2019 ze strany výjezdového portálu. V dostatečném předstihu před zahájením stavebních prací byly do horninového masivu nad tunelem instalovány extenzometry, v bezprostřední blízkosti stavebních jam byly instalovány inklinometry. Další metodiky měření, které jsou standardní součástí geotechnického (GT) monitoringu konvenčně ražených tunelů, jsou aplikovány v průběhu realizace díla. Poznatky z GT monitoringu jsou podkladem pro přijímání stavebně-technických opatření pro bezpečnou a ekonomickou výstavbu. Modernizací tohoto úseku se zase o několik minut zkrátí jízdní doba vlaků. S dokončením modernizace celého 4. koridoru pak dojde ke zkrácení jízdní doby vlaků z Českých Budějovic do Prahy z původních 2 h 30 min na 1 h 45 min.

### ABSTRACT

In Summer 2018, modernisation of railway the transit corridor commenced in the Sudoměřice u Tábora – Votice section at the total length of ca 17km. There are two civil-engineering objects in it, the 660m long Deboreč tunnel and the 840m long Mezno tunnel. Both tunnels are being constructed using the New Austrian Tunnelling Method (NATM). This paper summarises the experience from the construction of the Deboreč tunnel gathered to date. The construction work on this tunnel started in July 2018 by excavating the braced construction pit for the exit portal. The tunnel excavation itself commenced in January 2019 from the exit portal side. Extensometers were installed into the ground massif above the tunnel in a sufficient advance of the start of construction operations; inclinometers were installed in the immediate vicinity of the construction pits. Other measurement methodologies which are standard components of geotechnical (GT) monitoring of conventionally driven tunnels are applied during the realisation of the works. The knowledge from the GT monitoring is a basis for adopting civil-engineering – technical measures for safe and economic construction. The travel time of trains will again be reduced by several minutes by the modernisation of this section. With the completion of the modernisation of the whole corridor No. 4 the travel times of trains from České Budějovice to Prague will be reduced from original 2 hours 30 minutes minimally to 1 hour 45 minutes.

### ÚVOD

V rámci výstavby 4. tranzitního železničního koridoru v úseku Sudoměřice u Tábora – Votice je, jako jeden z mnoha stavebních objektů, navržen nový dvoukolejný tunel Deboreč ležící mezi obcemi Ješetice, Horní Borek, Nové Dvory, Řikov a Radíč. Tunel podchází pod vrchem Deboreč s nadmořskou výškou 598 m n. m. Výška terénu v místě portálů je okolo 560 m n. m. 4. koridor Praha – Benešov u Prahy – Tábor – České Budějovice – Horní Dvořiště patří k nejdůležitějším tratím České republiky – spojuje aglomeraci hlavního města s Táborskem a jižními Čechami. Zároveň je významnou transevropskou železniční trasou sítě TEN-T na severojižní ose Balt – Jadran (Berlin – Bad Schandau – Děčín – Praha – Horní Dvořiště – Linz – Salzburg – Villach – Tarvisio – Venezia – Bologna/Trieste).

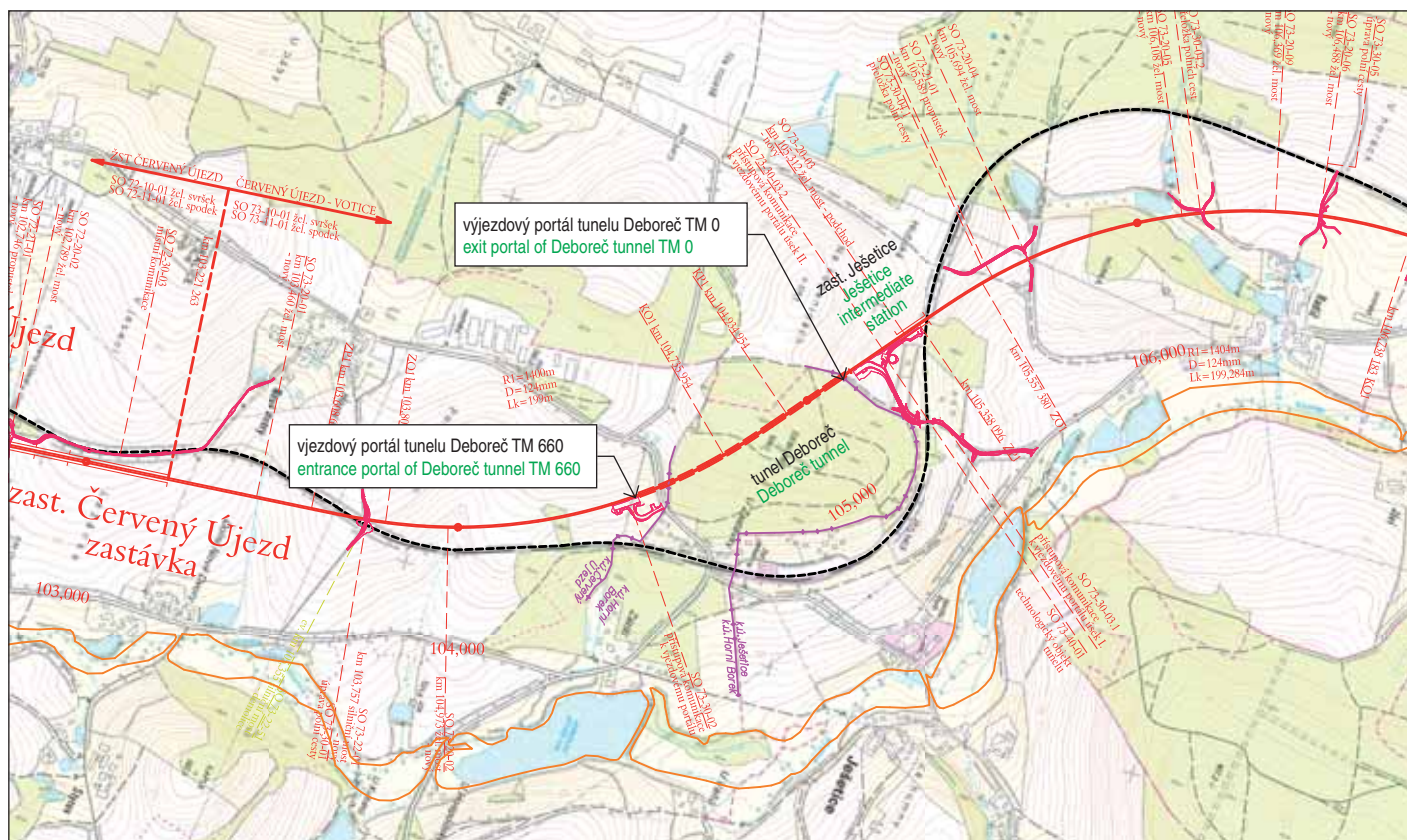
Výstavbou tunelu Deboreč dojde ke zvětšení poloměru oblouků stávající železnice a tím ke zlepšení komfortu cestování a zvýšení cestovní rychlosti ze současných 90 km/h na 160 km/h.

Investorem představovaného projektu je SŽDC, státní organizace, generálním zhotovitelem stavebních prací je společnost OHL ŽS, a.s., podzhotovitelem razících prací je společnost TUBAU, a.s. Geotechnický monitoring a geotechnický dohled provádí spo-

### INTRODUCTION

The new double-track Deboreč tunnel, located between the villages of Ješetice, Horní Borek, Nové Dvory, Řikov and Radíč, was designed within the framework of the development of transit railway corridor No. 4, section between the towns of Sudoměřice u Tábora and Votice, as one of many construction objects. The tunnel passes under Deboreč hill with the altitude of 598m a.s.l. The altitude of the terrain at the location of portals is about 560m a.s.l. The corridor No. 4 Prague – Benešov u Prahy – Tábor – České Budějovice – Horní Dvořiště belongs among the most important tracks of the Czech Republic – it connects the agglomeration of the capital with the Tábor region and Southern Bohemia. It is at the same time an important trans-European railway line of the TEN-T network on the Baltic sea – Adriatic sea (Berlin – Bad Schandau – Děčín – Prague – Horní Dvořiště – Linz – Salzburg – Villach – Tarvisio – Venezia – Bologna/Trieste north-south axis).

Thanks to the Deboreč tunnel construction the radii of curves of the existing track will be increased, thus the travelling comfort will improve and the travel speed will grow from current 90km/h to 160km/h.



Obr. 1 Situace širších vztahů

Fig. 1 Layout of wider relationships

zadávací dokumentace Sudop Praha, a.s. tender design Sudop Praha, a.s.

lečnost SG Geotechnika a.s. Na projekčních pracích se podílely organizace METROPROJEKT Praha a.s., coby zpracovatel dokumentace pro zadání stavby a MPI projekt s.r.o., coby zpracovatel realizační dokumentace stavby.

## POPIS ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ DÍLA

Konstrukce tunelu je tvořena dvěma hloubenými portálovými úseky budovanými v otevřené stavební jámě a úsekem raženým NRTM. Pro přehlednost bylo na tunelu zavedeno staničení v tunelmetrech (TM), které je nezávislé na oficiálním staničení tratě. TM 0,0 je v místě definitivního výjezdového (tj. pražského) portálu, počátek ražby v místě výjezdového portálu je na TM 49,0. Délka konstrukce hloubených částí je 49 m na vjezdovém (jihovýchodním) portálu a 49 m na výjezdovém (pražském, severozápadním) portálu. Ražený tunel je navržen v délce 562 m. Celková délka tunelu v jeho ose je tedy 660 m. Výška stěny raženého portálu je na vjezdu 16,1 m (nadloží 6,9 m), na výjezdu 16,8 m (nadloží 7,0 m). Maximální výška nadloží raženého tunelu je cca 47 m ve staničení TM 290. Situování tunelu je patrné z obr. 1. Podélný řez tunelem se zakreslením předpokládaných inženýrskogeologických poměrů je zpracován na obr. 2. Čistopis inženýrskogeologického řezu zhotoveného na základě skutečně zastížených inženýrskogeologických poměrů není s ohledem na fázi výstavby (k 9. 5. 2019 vyraženo 74 m z celkových 562 m) k dispozici.

Popis jednotlivých doposud zastížených geotechnických typů je zpracován v kapitole Inženýrskogeologická dokumentace.

### Hloubený výjezdový portál

Část vzdálenější od portálu (staničení TM 640 až TM 660) je po celé výšce pouze svahovaná. Jáma má v tomto úseku tři úrovně sklonů oddělených lavičkami. Všechny tři úrovně jsou zajištěny stříkaným betonem tl. 150 mm vyztuženým ocelovou sítí 150×150/6 mm. Do spodních dvou úrovní je navíc aplikováno

The owner of the project being prepared is the Railway Infrastructure Administration, state organisation; the general contractor for civil engineering structures is OHL ŽS, a.s. and the sub-contractor for the tunnel construction is TUBAU, a.s. The geotechnical monitoring and geotechnical supervision are conducted by SG Geotechnika a.s.

The design was carried out jointly by METROPROJEKT Praha a.s. (author of the tender design) and MPI projekt s.r.o. (author of the detailed design).

## DESCRIPTION OF BASIC PARAMETERS OF THE WORKS

The tunnel structure is formed by two portal sections built in open construction pits and a section mined using the NATM. Chainage in tunnel metres (TM) was introduced to the tunnel for clarity. It is independent of the official chainage of the track. TM 0.0 is in the location of the final exit (Prague) portal, the start of tunnel excavation is at TM 49.0. The lengths of the cut-and-cover parts are 49m at the entrance (south-eastern) portal and 49m at the Prague exit (north-western) portal. The length of 562m is designed for the mined tunnel. The total tunnel length on its centre line is therefore 660m. The mined portal wall is 16.1m high at the entrance (overburden 6.9m high) and 16.8m at the exit (overburden 7.0m high). The maximum mined tunnel overburden height amounts to 47m at chainage TM 290. The tunnel layout is obvious from Fig. 1. The longitudinal section through the tunnel with expected engineering geological conditions plotted on it is presented in Fig. 2. The clean copy of the engineering geological section carried out on the basis of actually encountered engineering geological conditions is not available with respect to the current construction phase (as of 9<sup>th</sup> May 2019, 74m of the total of 562m of tunnel excavation have been completed).

Description of individual geotechnical types encountered so far is available in the engineering geological documentation chapter.



hřebíkování ocelovou betonářskou tyčí průměru 25 mm. Délka hřebíků v nejnižší úrovni portálu činí 6 m, délka hřebíků ve střední úrovni činí 4 m.

Část stavební jámy přilehlá k portálu (staničení TM 640 až TM 611) je od kóty 557,65 m n. m. realizována do záporového pažení tvořeného ocelovými válcovanými profily I 300 a I 330. Tyto profily jsou osazeny do svislých vrtů Ø 640 mm a Ø 770 mm vrtaných v rozteči 1,50 až 2,26 m. Při hloubení jámy bylo za přírubby odkrytých válcovaných profilů osazováno vodorovné pažení tvořené dřevěnými pažinami z fošen. Pažená jáma je v předepsaných úrovních a roztečích kotvena tří- a pětipramencovými kotvami. Nad hlavami zápor je provedena lavička šířky 1 m. Horní část nad lavičkou je svahována ve sklonu 1:1,5 a je zajištěna stříkaným betonem tl. 150 mm vyztuženým ocelovou sítí 150×150/6 mm.

### Hloubený výjezdový portál

Stavební jáma výjezdového portálu je navržena obdobně jako jáma vjezdová.

Část vzdálenější od portálu (staničení TM 0 až TM 20) je po celé výšce pouze svahovaná a má v tomto úseku tři úrovně sklonů oddělených lavičkami. Všechny tři úrovně ve staničení TM 0–TM 20 jsou zajištěny stříkaným betonem tl. 150 mm vyztuženým ocelovou sítí 150×150/6 mm. Do spodních dvou úrovní je navíc aplikováno hřebíkování ocelovou betonářskou tyčí průměru 25 mm. Délka hřebíků v nejnižší úrovni portálu činí 6 a 8 m – 8 m jsou dlouhé dvě spodní řady hřebíků a 6 m je dlouhá horní řada hřebíků. Délka hřebíků ve střední úrovni činí 4 m.

### Cut-and-cover entrance portal

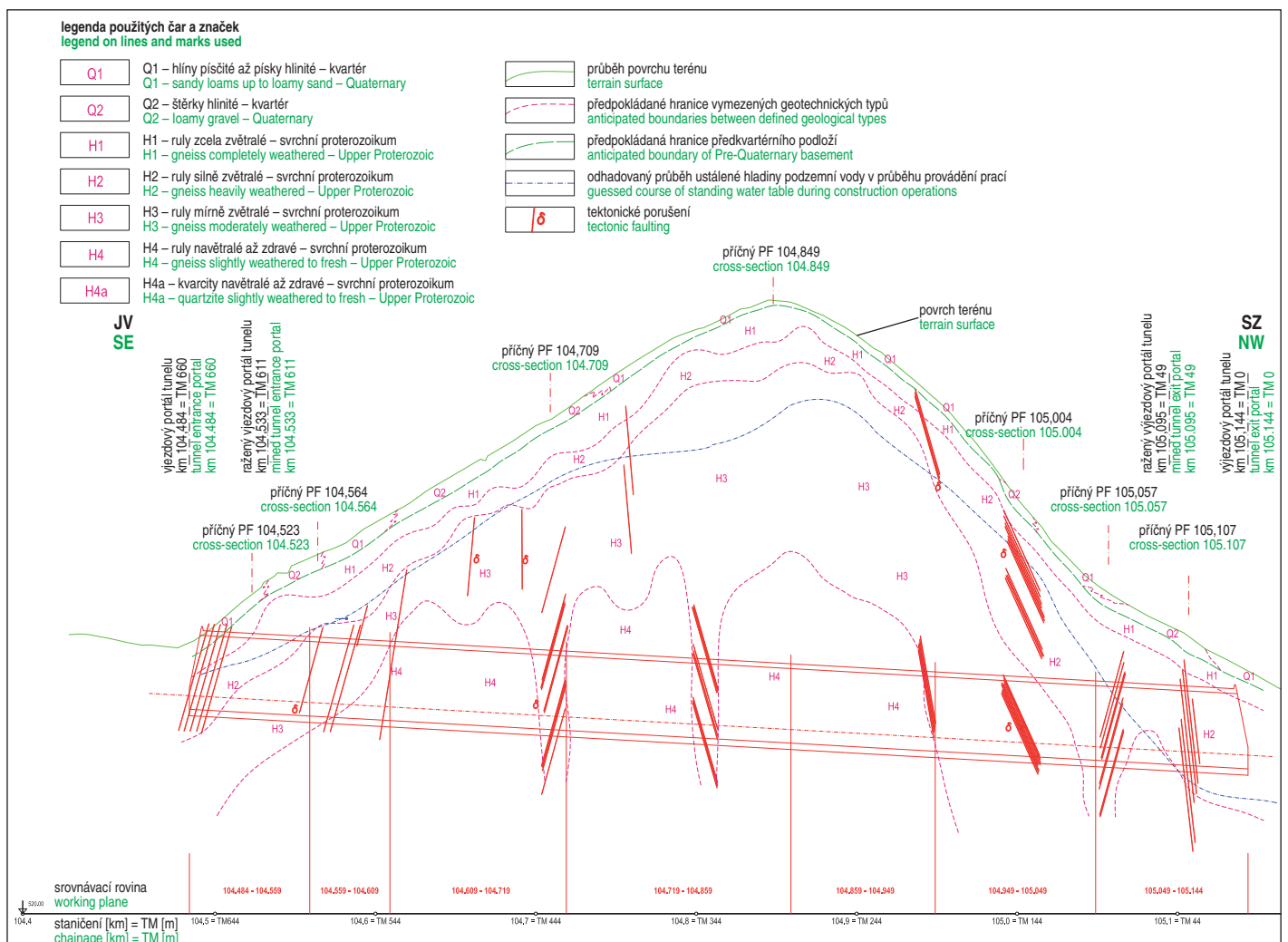
The part more distant from the portal (chainage TM 640 to TM 660) is only a pit sloped throughout its height. The pit in this section has three levels of slopes separated by berms. All three levels are stabilised with 150mm thick layer of shotcrete reinforced with welded mesh 150×150/6mm. Nailing using 25mm-diameter concrete reinforcement rods was applied to the lower two levels. The length of the nails amounts to 6m and 4m at the lowest portal level and the medium level, respectively.

The part of the construction pit adjacent to the portal (chainage TM 640 up to TM 611) from the level of 557.65m a.s.l. is braced by strutted sheeting formed by rolled steel sections I 300 and I 330. The sections are inserted into vertical boreholes 640mm respectively 770mm in diameter bored at 1.50 to 2.26m spacing. Timber planks forming the horizontal lagging were installed during the pit excavation behind flanges of the exposed rolled sections. The sheeted pit is anchored at prescribed levels and spacing with three- and five-strand anchors. A 1m wide berm is above the heads of soldier piles. The upper part above the berm is sloped at 1 : 1.5 and is stabilised with 150mm thick shotcrete reinforced with welded mesh 150×150/6mm.

### Cut-and-cover exit portal

The construction pit for the exit portal is designed similarly to the entrance pit.

Part farther from the portal (chainage TM 0 to TM 20) is only sloped throughout its height and has three gradients separated by berms in this section. All three slopes at chainage TM 0–TM 20 are



Obr. 2 Podélný inženýrskogeologický řez

Fig. 2 Longitudinal engineering geological section



Viděnský, 2019 Viděnský, 2019

**Obr. 3 Čelba v TM 49,4 – výjezdový portál, zahajovací čelba ražené části tunelu**  
**Fig. 3 Excavation face at TM 49.4 – exit portal, opening excavation face of the mined tunnel part**

Část stavební jámy přilehlá k portálu (staničení TM 20 až TM 49) je od kóty 553 m n. m. realizována do záporového pažení tvořeného ocelovými válcovanými profily I 300 a I 330. Tyto profily jsou osazeny do svislých vrtů Ø 640 mm a Ø 770 mm vrtaných v rozteči 1,50 až 2,10 m. Při hloubení jámy bylo za příruby odkrytých válcovaných profilů osazováno vodorovné pažení tvořené dřevěnými pažinami z fošen. V předepsaných úrovních bylo realizováno kotvení zápor pramencovými kotvami. Nad hlavami zápor je provedena lavička šířky 1 m. Horní část nad lavičkou je svahována ve sklonu 1:1,5. Tato svahovaná část je zajištěna stříkaným betonem tl. 150 mm vyztuženým ocelovou sítí 150×150/6 mm.

### Ražená část

Tunel je ražen konvenčně NRTM. Ražbami byly doposud (čelba kaloty je k 9. 5. 2019 v TM 123) zastiženy zcela až mírně zvětralé horniny, silně rozpukané, které byly rozpojovány strojní mechanizací. Hlouběji v hoře se v navětralých až zdravých polohách pararul počítá s použitím trhacích prací a mechanickým dočištěním líce výrubu. Profil tunelu je horizontálně členěn na kalotu, opěří a dno. V podélném směru je vzdálenost čelb jednotlivých dílčích výrubů závislá na zastižených geologických podmínkách a je určena technologickou třídou výrubu. Ražba tunelu probíhá dovrčně od výjezdového portálu směrem k vjezdovému portálu. Fotografie zahájení prací je na obr. 3. Na fotografii je v prostoru kaloty patrný relikv záporové portálové stěny, který byl v prvních dvou záběrech ponechán pro zajištění stability čelby.

Ostění tunelu je dvouplášťové s mezilehlou fóliovou izolací. Primární ostění je tvořeno stříkaným betonem tloušťky 150, 200, 250, 300 a 400 mm (dle technologické vstrojovací třídy výrubu) se sítí, příhradovými nosníky, svorníky, jehlováním a v případě technologické třídy NRTM 5b i s čelbovými kotvami a mikropilotovým deštníkem. Sekundární ostění je navrženo monoliticky do bednění z betonu C30/37-XC1, XF1, XA2 s tloušťkou 350 mm pro technologické třídy NRTM 2 až 5a a tloušťkou 450 mm pro třídu 5b. Délka bloku betonáže je stanovena jednotně pro celý tunel a činí 12 m.

### GEOTECHNICKÝ MONITORING

Stavební práce na tunelu započaly v červenci 2018 skrývkou půdního profilu na výjezdovém portálu, hloubení na vjezdovém portálu započalo v listopadu 2018. K 9. 5. 2019 je částečně vyhloubena stavební jáma vjezdového portálu (cca 14 výškových metrů

stabilised with 150mm thick layer of shotcrete reinforced with welded mesh 150×150/6mm. Nailing with steel concrete reinforcement rods 25mm in diameter are in addition applied to the two lowest slopes. The nails at the lowest portal level are 6 and 8m long – nails in the two lower tiers are 8m long, nails in the upper tier are 6m long. At the medium level, the nails are 4m long.

Part of the construction pit adjacent to the portal (chainage TM 20 to TM 49) from the level of 553m a.s.l. is braced by strutted sheeting formed by rolled steel sections I 300 and I 330. The sections are inserted into vertical boreholes 640mm and 770mm respectively in diameter bored at 1.50 to 2.10m spacing. Timber planks forming the horizontal lagging were installed during the pit excavation behind flanges of the exposed rolled sections. Anchoring of the soldier piles was realised at the prescribed levels using stranded anchors. A 1m wide berm is above the heads of soldier piles. The upper part above the berm is sloped at 1:1.5 and is stabilised with a 150mm thick shotcrete layer reinforced with welded mesh 150×150/6mm.

### Mined part

The tunnel is driven conventionally using the NATM. The excavation so far (as of 9<sup>th</sup> May 2019 the excavation face is at TM 123) encountered completely to moderately weathered, heavily fractured rock. It was disintegrated mechanically. Deeper in the massif, application of the drill and blast method is expected, with mechanical scaling of the excavation surface. The tunnel excavation sequence is horizontal, consisting of top heading, bench and bottom. In the longitudinal direction, the distance between faces of individual partial excavations depends on the geological conditions encountered and is determined by the excavation support class. The tunnel excavation proceeds uphill toward the entrance portal. A photo of the excavation commencement is in Fig. 3. Remains of the soldier pile and lagging wall which were left at the initial excavation rounds to stabilise the excavation face are visible in the photo in the space of the top heading.

The tunnel lining is of the double-shell type with an intermediate plastic membrane. The primary lining is formed by shotcrete 150, 200, 250, 300 and 400mm thick (depending on the excavation support class) with welded mesh, lattice girders, rockbolts, needles and, in the case of the NATM support class 5b, even with face supporting anchors and canopy tube pre-support. The secondary lining is made of cast-in-situ C30/37-XC1, XF1, XA2 concrete. The thickness of 350mm is designed for NATM excavation support classes 2 through to 5 and 450mm for NATM class 5b. The length of the concrete casting blocks are set at 12m, uniformly for the whole tunnel.

### GEOTECHNICAL MONITORING

Construction work on the tunnel started in July 2018 by stripping of the earth profile at the exit portal; excavation at the entrance portal started in November 2018. As of 9<sup>th</sup> May 2019, the excavation of the construction pit for the entrance portal has been partially carried out (ca 14m of the total depth of 16.5m at the location of the mined portal wall). The excavation for the pit for the exit portal has been finished up to the bottom (the depth of 16m). The tunnel excavation continues from the temporary exit portal located at TM 49. As of 9<sup>th</sup> May 2019, the top heading excavation face has arrived to the distance of 74m from the mined portal (TM 123), the bench excavation face is at TM 103 and the bottom has been closed up to TM 102.2.

The data monitoring the behaviour of the ground environment, the civil engineering structures being constructed and the behaviour of buildings adjacent on the surface has been measured and assessed during the construction process. Geomonitoring results are, together with engineering geological monitoring of the tunnel excavation, categorised into excavation support classes. Alert states are defined in the design for individual measurements. Particular values of alert states are based either on the anticipated deformation set in the

z celkových cca 16,5 m v místě stěny raženého portálu). Jáma výjezdového portálu je vyhloubena až na dno (hloubka cca 16 m). Ražby probíhají od provizorního výjezdového portálu situovaného do TM 49. Čelba kaloty je k 9. 5. 2019 ve vzdálenosti 74 m od raženého portálu (TM 123), čelba opěří je ve vzdálenosti TM 103 a dno uzavřeno do TM 102,2.

V dosavadním průběhu stavby jsou měřeny, dokumentovány a vyhodnocovány údaje monitorující chování horninového prostředí, budovaných stavebních konstrukcí a také stávající okolní zástavby. Výsledky geomonitoringu jsou, spolu s inženýrskogeologickým sledováním ražeb, podkladem pro zařídování do technologické třídy výrubu. Pro jednotlivá měření jsou v projektu monitoringu stanoveny varovné stavy. Konkrétní hodnoty varovných stavů vycházejí buď z předpokládaných deformací stanovených v projektové dokumentaci (deformace ostění, deformace portálových stěn), nebo byly stanoveny na základě zkušeností získaných na již realizovaných tunelových stavbách (sedání terénu), příp. byly převzaty z norem či jiných předpisů (seismika, akustika). V rámci geomonitoringu jsou na tunelu Deboreč prováděna tato konkrétní měření a sledování:

- měření deformací primárního ostění (tzv. konvergenční měření);
- extenzometrická měření;
- měření zatížení primárního ostění – tenzometry;
- inklinometrická měření;
- geodetické sledování deformací svahů a stěn stavebních jam;
- geodetické sledování povrchu – nivelace;
- dynamická a akustická měření;
- hydrogeologický monitoring;
- geodetická dokumentace výrubu kaloty (profilace);
- měření tvaru primárního a sekundárního ostění – skenování;
- geodetické měření deformací sekundárního ostění;
- pasportizace okolní zástavby.

Naměřené veličiny jsou v co nejkratší době vyhodnocovány a jsou sdíleny v databázovém informačním systému monitoringu přístupném všem kompetentním účastníkům výstavby přes webové rozhraní.

### Měření v okolí výrubu (konvergenční a extenzometrická měření)

Konvergenční profily jsou na tunelu Deboreč pětibodové (tři body v kalotě a dva v opěří) a jsou instalovány v roztečích od 5 m v příportálových úsecích až po 16 m uprostřed tunelu.

Extenzometrické profily jsou po délce tunelu osazeny dva. Každý profil sestává z jednoho třístupňového (nad osou tunelu) a dvou krajních čtyřístupňových extenzometrů (4,8 m od osy tunelu vpravo a vlevo). Jeden profil je instalován v místě nízkého nadloží mocnosti cca 8 m v TM 59,5 a druhý je v místě vysokého nadloží mocnosti cca 29 m v TM 438. Čelba tunelu (kalota i opěří) prošla pouze pod prvním profilem.

Doposud byly ražbami zastíženy převážně zvětralé, silně rozpukané pararuly, viz kapitola Inženýrskogeologická dokumentace. Hodnoty deformací ostění jsou i přes tyto nepříznivé inženýrskogeologické poměry nízké. Radiální deformace se prozatím pohybují do 25 mm a jsou pod hodnotou prvního varovného stavu stanoveného v projektu monitoringu na hodnotu 80 mm. Takto nízké hodnoty deformací jsou podle názoru autorů pozorovány z důvodu použití tuhého primárního ostění v příportálovém úseku, kde byla použita technologická vstrojovací třída 5b1. Vstrojení této třídy sestává z mikropilotového deštníku, sříkaného betonu vyztuženého příhradovými ramenaty a ocelovými sítěmi a radiálními IBO svorníky. Přejít ze třídy 5b1 do třídy 5a byl uskutečněn v TM 108 (tj. 59 m od raženého portálu) namísto

design (deformations of the lining, deformations of portal walls) or were determined on the basis of experience obtained from already finished tunnel construction projects (terrain settlement) or were adopted from standards or other regulations (seismic, acoustics). The following concrete measurements and monitoring are conducted on the Deboreč tunnel within the framework of geomonitoring:

- measurements of deformations of the primary lining (the so-called convergence measurements);
- measurements of loads acting on the primary lining – strain gauges;
- inclinometer measurements;
- surveying of deformations of slopes and walls of the construction pits;
- surveying of the terrain surface – levelling;
- dynamic and acoustic measurements;
- hydrogeological monitoring;
- documenting the top heading excavation (profiling) by surveying;
- measuring the geometry of the primary and secondary linings – scanning;
- surveying of deformations of the secondary lining;
- surveying conditions of adjacent surface buildings.

The measured values are assessed in the shortest possible time and are shared in the database information system accessible for all competent parties to the construction through web interface.

### Measurements in the excavation surroundings (convergence and extensometer measurements)

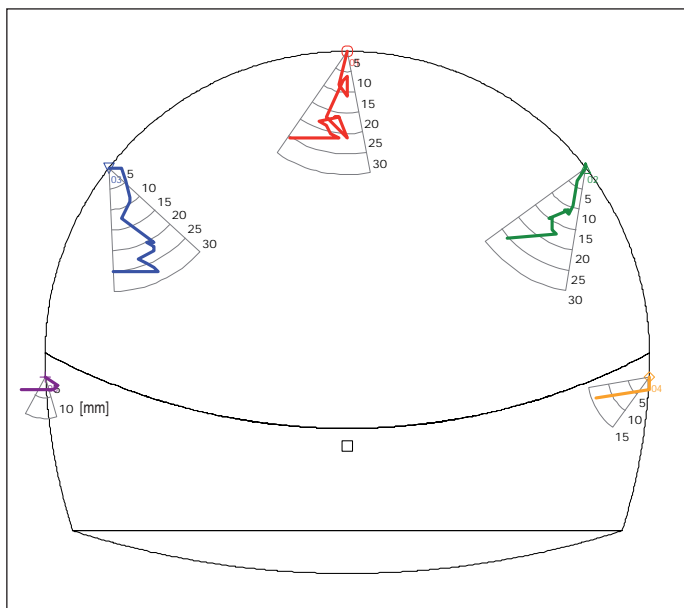
There are 5-point convergence profiles in the Deboreč tunnel (3 points at top heading and two at bench). They are installed at the spacing ranging from 5m in the portal sections up to 16m in the middle of the tunnel.

Two extensometer profiles are installed along the tunnel length. Each profile consists of one three-stage extensometer (above the tunnel centre line) and two four-stage extensometers on the tunnel sides (4.8m from the tunnel centre line, both on the right side and the left side). One profile is installed in the location of the shallow, ca 8m high, overburden at TM 59.5; the other one is in the location of the ca 29m high overburden at TM 438. The tunnel excavation face (top heading and bench) has so far passed only under the first profile.

Mostly disintegrated rock, heavily weathered paragneiss (see the chapter Engineering geological documentation) have been encountered so far by the tunnel excavation. Despite the unfavourable engineering geological conditions, the values of deformation of the lining are low. Radial deformations for the time being range up to 25mm and are under the value of the first alert state determined by the monitoring design at 80mm. Experts believe that so low values of deformations are observed because of the use of the rigid primary lining in the portal section, where the excavation support class 5b1 was applied. The support for this excavation support class consists of a canopy tube pre-support, shotcrete reinforced with lattice ribs, welded mesh and IBO bolts. The transition from class 5b1 to class 5a was carried out at TM 108 (59m from the mined portal) instead of the planned TM 168. Class 5a was, in addition, modified – closing of the bottom was abandoned and the quantity of circumferential nails was reduced. It means that, in comparison with the design for excavation and support, the more subtle class 5a where the lengthy installation of the canopy tubes is omitted, was used earlier. The application of this lighter excavation support class 5a even before chainage TM 108 was discussed at the Monitoring Board. The proposal was dismissed because of the fear that the ground arch would not develop due to shallow overburden (the overburden height at TM 49 to TM 108 amounts only to 7 to 14m) and an unexpected event could take place.

The zero convergence measurement was conducted with a delay after the tunnel excavation. The reason is that the measurement





Cermák, 2019 Cermák, 2019

Obr. 4 Konvergenční profil v TM 68  
Fig. 4 Convergence profile at TM 68

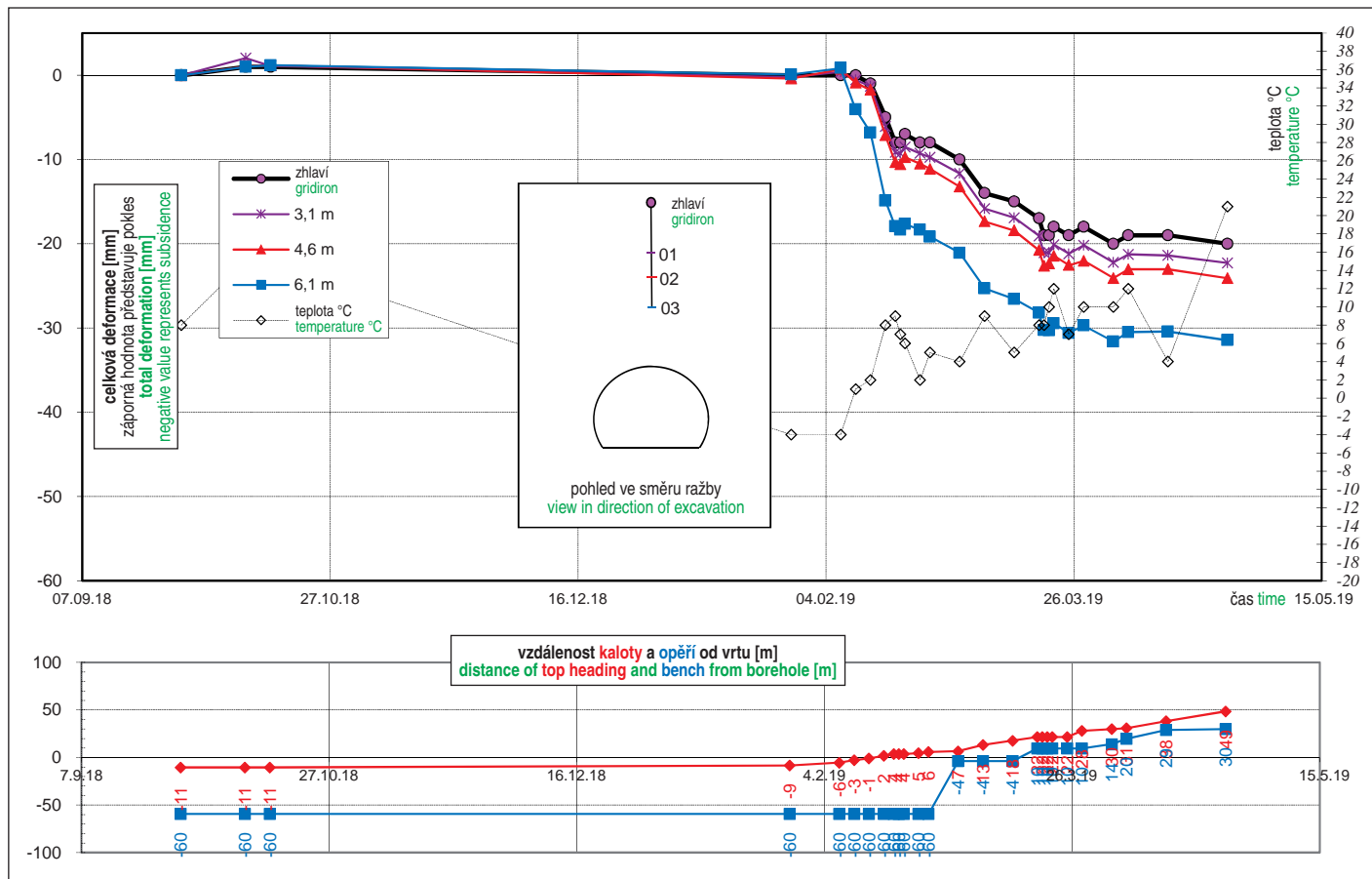
plánovaného TM 168. Třída 5a byla navíc modifikována – bylo upuštěno od uzavírání dna a byl snížen počet obvodových jehel. Oproti RDS byla tedy dříve využita subtilnější třída 5a, ve které pracná a zdlouhavá instalace trubek mikropilotového deštníku odpadá. Na Radě monitoringu bylo diskutováno využít tuto lehčí vystrojovací třídu 5a ještě před staničením TM 108. Tento návrh však byl zamítnut z obavy, že se vlivem nízkého nadloží (výška nadloží v TM 49 až TM 108 činí pouze 7 až 14 m) nevytvoří horninová klenba a mohlo by dojít k nepředvídatelné události.

profile points are installed later, into the first shotcrete layer. The real deformation is greater than the measured deformation. The values measured on the extensometer profile at TN 59.5, where a value of ca 30mm was measured on lower anchors located ca 1.5m above the excavated opening, correspond to it. It is possible to guess at the value of the excavated opening deformation happening prior to the installation of convergence points from the data measured on extensometers and convergence profiles that it was ca 30% from the total deformation. It means that ca 10mm of radial deformations is not registered by convergence measurements.

An example of an output of the convergence profile from TM 68 is presented in Fig. 4; a graph of the settlement of the extensometer located above the tunnel centre line at TM 59.5 is presented in Fig. 5.

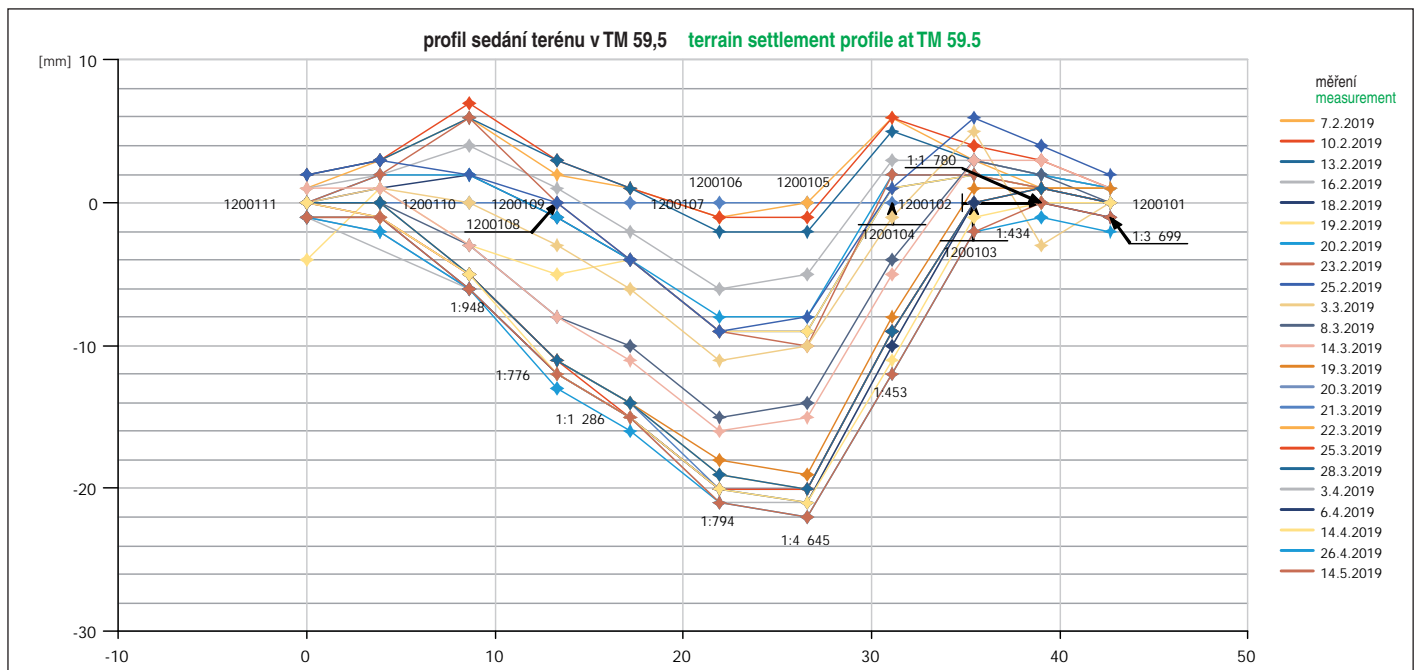
**Measurement of settlement trough**

Two levelling profiles forming combined profiles together with extensometer profiles are installed for the purpose of checking on movements of the ground massif above the tunnel. Each station consists of eleven levelling points. The excavation faces of top heading and bench have so far passed under the first profile, on which deformation values up to 22mm were measured on the tunnel centre line. In the direction off the centre line, the deformations decrease to zero. The Differential settlement amounted to ca 1:500. The first alert state of terrain settlement, which was set by the monitoring design at 25mm, was not exceeded. Initial terrain settlement values of 2mm on the tunnel centre line (1 per cent of the total deformation) were registered at the moment when the excavation face of the top heading was at TM 56.6 (ca 3m before the levelling profile). On the day following after the passage of the top heading excavation face under the levelling profile, the terrain settlement on the tunnel centre line amounted to 6mm (27 per cent of total deformation). The bench excavation passed under the levelling profile with an about



Kössler, 2019 Kössler, 2019

Obr. 5 Sedání extenzometru situovaného nad osou tunelu v TM 59,5  
Fig. 5 Settlement of extensometer located on the tunnel centre line at TM 59.5



Čermák, 2019 Čermák, 2019

Obr. 6 Poklesová kotlina v TM 59,5  
Fig. 6 Settlement trough at TM 59.5

Nulté konvergenční měření je provedeno se zpožděním za ražbou, body měřicího profilu se totiž osazují až do první vrstvy stříkaného betonu. Skutečná deformace je větší než deformace změřená. Tomu odpovídají i výsledky naměřené na extenzometrickém profilu v TM 59,5, kde byla na spodních kotvách umístěných cca 1,5 m nad výrubem naměřena hodnota sedání cca 30 mm. Z údajů změřených na extenzometrech a konvergenčních profilech lze odhadnout hodnotu deformace horninového výrubu proběhnuvší před instalací konvergenčních bodů na cca 30 % z celkové deformace. Tzn., že cca 10 mm radiálních deformací není konvergenčními měřeními zaznamenáno.

Příklad výstupu konvergenčního profilu z TM 68 je zpracován na obr. 4, graf sedání extenzometru situovaného nad osou tunelu v TM 59,5 je zpracován na obr. 5.

### Měření poklesové kotliny

Pro ověření pohybů horninového masivu nad tunelem jsou po délce tunelu osazeny dva nivelační profily situované do sdruženého profilu spolu s extenzometrickými profilem. Každý profil sestává z jedenácti nivelačních bodů. Čelba kaloty a opěří prošla doposud pod prvním profilem, na kterém byly naměřeny deformace v hodnotách do 22 mm v ose tunelu. Směrem od osy tunelu se deformace snižují k nule, max. sklon poklesové kotliny byl zjištěn v hodnotě cca 1:500. První varovný stav sedání terénu stanovený v projektu monitoringu na hodnotu 25 mm překročen nebyl. První sedání terénu v hodnotě 2 mm v ose tunelu (1 % celkové deformace) bylo zaznamenáno v době, kdy byla čelba kaloty v TM 56,6 (cca 3 m před nivelačním profilem). Následující den po průchodu čelby kaloty pod nivelačním profilem činilo sedání terénu v ose tunelu 6 mm (27 % celkové deformace). Opěří prošlo pod nivelačním profilem s cca měsíčním zpožděním za kalotou. Sedání terénu před průchodem opěří činilo v ose tunelu 16 mm (72 % celkové deformace) a deformace nebyly v té době zcela uklidněny. Protiklenba byla uzavřena za další tři dny po průchodu opěří. Před uzavřením protiklenby činilo sedání terénu v ose tunelu 19 mm (86 % celkové deformace). K úplnému odeznění deformací došlo cca v půli měsíce dubna 2019, tedy cca 2 měsíce po průchodu kaloty pod nivela-

one month delay after the top heading. The terrain settlement on the tunnel centre line before the passage of the bench amounted to 16mm (72 per cent of total deformation) and deformations had not been fully stabilised at that time. The invert was closed after three days following the passage of the bench. The terrain settlement on the tunnel centre line before closing the invert amounted to 19mm (86 per cent of the total deformation). Increasing deformations completely faded away ca in the middle of April 2019, it means ca 2 months after the passage of the top heading under the levelling profile. The settlement trough measurement results are presented in Fig. 6 (tunnel centreline is located at levelling point No. 1200106).

### Monitoring of construction pits

A system of monitoring of movement of the walls is designed for the entrance and exit construction pits. The total of 40 pieces of 3D survey points are installed on each portal. Two inclinometers and one inclinometer are installed on the entrance portal and the exit portal, respectively. A view of the exit portal with 3D survey points and dynamometers is presented in Fig. 7.

The values of individual components of deformations (longitudinal, transverse, vertical) measured on side walls of the braced pit for the exit portal reach up to 15mm; the first alert state set at 20mm of tilting out/pressing in/settling of the portal wall was not reached in that location. Inclinometer D IN 2 located above the south-western side wall exhibits only insignificant deformations not exceeding 2mm. Horizontal deformations (tilting out/pressing in up to 10mm) were measured on the survey points on the portal wall; settlement values reached up to 21mm, slightly exceeding the alert level. After closing the tunnel profile by invert in the portal area, deformations stabilised and no more grow. The graph of the portal wall settlement is presented in Fig. 8.

The values of individual components of deformations (longitudinal, transverse, vertical) for the time being do not exceed 10mm at the partially completed excavation for the entrance portal, therefore they are under the value of the first alert state. As in the case of the exit portal, the value of the first alert state for individual components of deformations of the entrance portal (longitudinal, transverse and vertical) was set at 20mm. The first inclinometer, D IN 1A, is located at the northern corner of the portal pit and the second one is installed above the crown of the south-western wall. For the time being small



Kössler, 2019 Kössler, 2019

**Obr. 7** Pohled na výjezdový portál s osazenými 3D geodetickými body a dynamometry

**Fig. 7** A view of exit portal with the 3D survey points and dynamometers installed

ním profilem. Výsledky měření poklesové kotliny jsou znázorněny na obr. 6 (osa tunelu je na obrázku v místě nivelačního bodu č. 1200106).

### Monitoring stavebních jam

U vjezdové i výjezdové stavební jámy je navržen systém sledování pohybů jejich stěn. Na každém portálu je osazeno 40 ks 3D geodetických bodů. Na vjezdovém portálu jsou instalovány dva inklinometry a na výjezdovém portálu je inklinometr jeden. Pohled na výjezdový portál s osazenými 3D geodetickými body a dynamometry je na obr. 7.

Hodnoty deformací na bočních stěnách pažené jámy výjezdového portálu dosahují v jednotlivých složkách (podélná, příčná, svislá) hodnot do 15 mm, první varovný stav stanovený na hodnotu 20 mm vyklonění/zatlačení/sedání portálové stěny zde dosažen nebyl. Inklinometr D IN 2 situovaný nad jihozápadní boční stěnou výjezdového portálu vykazuje pouze nevýznamné deformace do 2 mm. Na geodetických bodech portálové stěny výjezdového portálu byly naměřeny vodorovné deformace (vyklonění/zatlačení do 10 mm), hodnoty sedání dosáhly hodnot do 21 mm, čímž byl nepatrně překročen varovný stav. Po uzavření profilu tunelu protiklenbou v oblasti portálu se deformace uklidnily a dále se nezvyšují. Graf sedání portálové stěny je znázorněn na obr. 8.

Deformace na částečně vyhloubeném vjezdovém portálu se v jednotlivých složkách (podélná, příčná, svislá) prozatím pohybují v hodnotách do 10 mm a jsou tedy pod hodnotou prvního varovného stavu. Obdobně jako u výjezdového portálu, byl i pro vjezdový portál stanoven první varovný stav pro jednotlivé složky deformací (podélná, příčná, svislá) na hodnotu 20 mm. U vjezdového portálu jsou instalovány inklinometry dva. První inklinometr D IN 1A je situovaný v severním rohu portálové jámy a druhý je instalován nad korunou jihozápadní stěny. Na obou inklinometrech byly naměřeny prozatím malé deformace v hodnotách do 4 mm v horní úrovni vrtů – směr pohybů obou vrtů je přibližně do jámy.

### Tenzometrická měření

Po délce tunelu jsou navrženy dva tenzometrické profily sestávající vždy z pěti strunových tenzometrů, tři tenzometry jsou instalovány v kalotě a dva v opěři. Doposud byl do primárního ostění nainstalován pouze první tenzometrický profil v TM 68,9. Druhý tenzometrický profil je plánován ve staničení TM 438.

deformations not exceeding 4mm have been measured on both inclinometers at the upper level of the boreholes. The direction of the movements is approximately toward the pit.

### Strain gauge measurements

Two strain gauge profiles always consisting of five vibrating wire strain gauges are designed along the tunnel length; three strain gauges are installed in top heading and two in bench. Only the first strain gauge profile has been so far installed into the primary lining at TM 68.9. Installation of the second strain gauge profile is planned for chainage TM 438.

The values of compressive strength of 17MPa and tensile stress of up to 3MPa were measured on the first strain gauge measurement profile.

### Monitoring of buildings in the vicinity

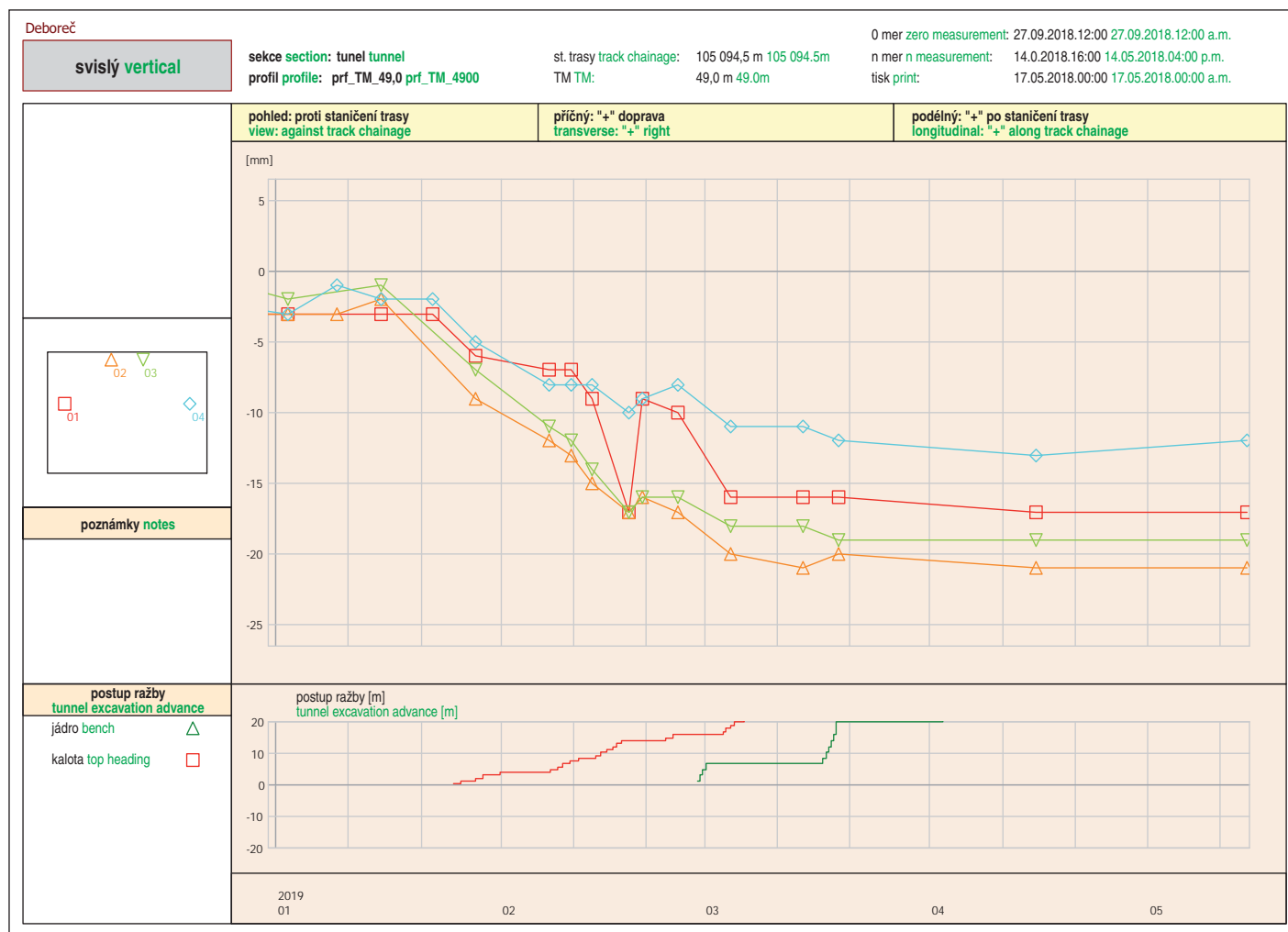
Monitoring of buildings in the vicinity was incorporated into the monitoring system for the purpose of finding whether negative affecting of the existing buildings takes place due to the tunnel excavation. The condition survey of five buildings identified in the vicinity of the entrance portal was conducted in sufficient advance of the commencement of the construction operations. During the local investigation by the Regional Mining Authority regarding the blasting permit, some local citizens and the Mayoress of Ješetice required the condition survey of more distant buildings, over the extent of the originally planned survey to be conducted. The Regional Mining Authority met the requirements and inserted a condition to the additional condition survey of additional eleven buildings into the Decision to permit the blasting operations issued in December 2018. As of 9<sup>th</sup> May, all surveys of buildings in the terrain surface have been finished and the work on the reports is underway. Deformeters were installed on significant cracks in some buildings for the purpose of monitoring the widths of cracks. Checking is carried out regularly with monthly frequency. Subsequent condition survey of all sixteen buildings is planned after completion of construction operations.

In the potential zone affected by the tunnel excavation, levels of water in water sources are also observed. Wells have been measured from the beginning of 2017 so that the data series was sufficiently long. Owing to this fact even the whole period of 2018 characterised by the below-average precipitation total was recorded. It means that the state of loss of water in water sources between 2017 and 2018, at the time when tunnel excavation could not influence the condition of ground water, is recorded.

Seismic and acoustic effects on buildings in the vicinity will be monitored during the course of the tunnel excavation for the purpose of checking on the effects of blasting operations. The installation of permanent seismic stations with continual reading and automatic transmission of data is planned for two selected buildings throughout the duration of blasting operations. The decision on the exact location of the measurement stations will be made during first blasting operations, when seismic effects will be observed on several properties in various locations. The seismic stations will be probably shifted with the intensity of seismic effects in the particular locations changing with the advance of the tunnel excavation. The first alert state for seismic monitoring is set in compliance with the CSN 73 0040 standard "Loads on structures by technical seismicity and their response" at the value of vibration velocity of 3mm/s.

Acoustic effects will be checked on buildings tipped from the aspect of hygiene limits set within the framework of the Decree of the Government No. 272/2011 Coll. on protection of health against adverse effects of noise and vibration. In the case of adverse seismic or acoustic effects it will be necessary to modify the technique of blasting operations. Alert states regarding acoustic effects are borrowed from the Decree of the Government No. 272/2011 Coll.,





Cermák, 2019 Cermák, 2019

Obr. 8 Graf sedání portálové stěny  
Fig. 8 Graph of portal wall settlement

Na prvním tenzometrickém profilu byly naměřeny hodnoty tlakového napětí do 17 MPa a tahového napětí do 3 MPa.

### Sledování objektů okolní zástavby

Pro zjištění, zda z důvodu ražby tunelu nedochází k negativnímu ovlivnění stávajících objektů, bylo do monitoringu začleněno sledování okolních nemovitostí. V dostatečném předstihu před započítím stavebních prací byl realizován pasport pěti vytipovaných domů v blízkosti vjezdového portálu. Při místním šetření OBÚ o povolení trhacích prací požadovali někteří místní občané a starostka Ještic pasportizaci vzdálenějších nemovitostí nad rámec původně plánované pasportizace. OBÚ jejich požadavkům vyhověl a do rozhodnutí o povolení trhacích prací vydaném v prosinci 2018 uložil podmínku dodatečné pasportizace dalších jedenácti objektů. K 9. 5. se podařilo všechny pasporty objektů v terénu zrealizovat a probíhá vypracování zpráv. Na významných trhlinách byly na některých objektech osazeny deformetry pro sledování šířky trhlin, na kterých probíhá pravidelný odečet v měsíční četnosti. Po ukončení stavebních prací je plánována následná repasportizace všech šestnácti nemovitostí.

V potenciální zóně ovlivnění ražbami jsou sledovány úrovně hladin vodních zdrojů. Aby byla datová řada dostatečně dlouhá, jsou studny měřeny od počátku roku 2017. Díky tomu bylo zaznamenáno i celé období roku 2018, který se vyznačoval podprůměrným úhrnem srážek. Je tedy zachycen stav úbytku vody ve vodních zdrojích mezi léty 2017 a 2018, tedy v době, kdy ještě ražby tunelu nemohly stav podzemních vod ovlivnit.

where day-time and night-time limit values are set at 83dB and 40dB, respectively.

### Surveying the contour of unsupported excavation and lining

Each excavation round is surveyed transversally with a Profiler survey apparatus to document the actual contour of the unsupported excavation, therefore also for the possible amount of overbreaks (underbreaks). A curve for the actual geometry of the excavation is drawn for each excavation round from the measured values. The curve is continually compared with the theoretical geometry of the excavation and the values of overbreaks/underbreaks are determined from differences between the two curves. The individual overbreaks measured so far are small, reaching mostly values not exceeding 1m<sup>3</sup>; the value of 1m<sup>3</sup> was exceeded sporadically.

After the completion of tunnel excavation, the surface of the primary lining will be scanned using a laser scanner for the needs of reprofiling before installation of the waterproofing layers. The geometry of the scanned profile will be related to the nominal profile, which is formed by the external surface of the secondary lining. Concrete differences between the geometry of the actual surface of the primary lining and the nominal profile will be obvious from the measurement results.

### Engineering geological documentation

The continual uncovering of portal pit walls were and are documented in detail using engineering geological methods and by photographs with focus on lithology and degree of weathering of

Pro kontrolu účinků trhacích prací budou v průběhu ražby sledovány seismické a akustické účinky na okolní objekty. Na dvou vybraných objektech je po dobu použití trhacích prací plánována instalace stálých seismických stanic s kontinuálním snímáním a automatickým přenosem dat. O přesném umístění těchto měřicích stanic bude rozhodnuto při prvních odstřelech, kdy budou sledovány seismické účinky na několika nemovitostech v různých lokalitách. Jak se s postupem ražby bude měnit intenzita seismických účinků v daných lokalitách, budou pravděpodobně přesouvány i seismické stanice. První varovný stav je u seismického sledování nastaven v souladu s ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva“ na hodnotu rychlosti kmitání 3 mm/s.

Akustické účinky budou kontrolovány na vytípaných objektech z hlediska hygienických limitů stanovených v rámci nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V případě nepříznivých seismických či akustických účinků bude třeba upravit technologii trhacích prací. Varovné stavy jsou u akustických účinků převzaty z nařízení vlády 272/2011 Sb., kde jsou stanoveny limitní hodnoty pro denní dobu 83 dB a pro noční dobu 40 dB.

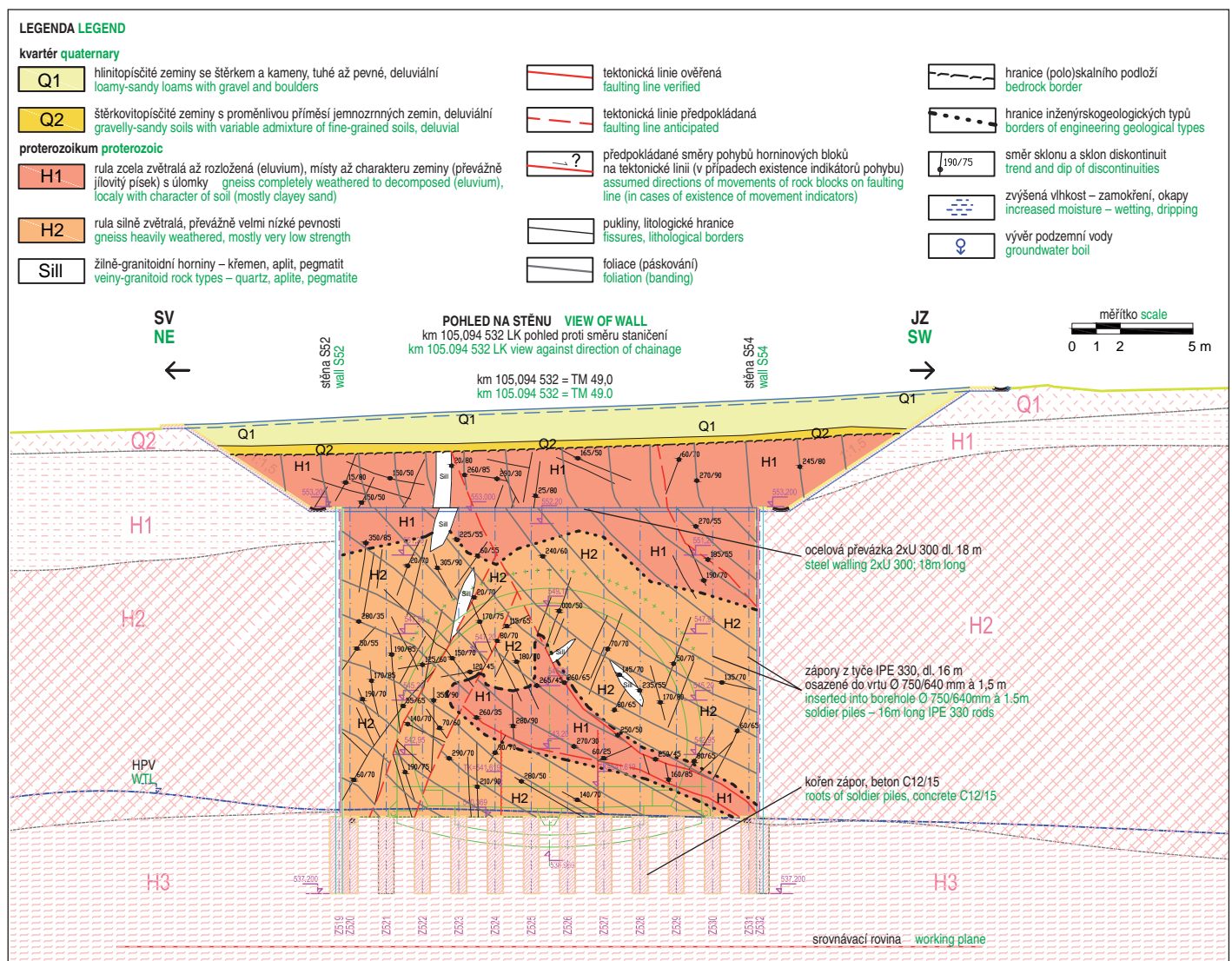
**Geodetické měření tvaru nezajištěného výrubu a ostění**

Pro zdokumentování skutečného tvaru nezajištěného výrubu, a tedy i případného množství nadvýrubů (podvýrubů), je každý záběr zaměřen v příčném směru geodetickým přístrojem profiler.

present ground types, structural elements (discontinuity systems, possibly ductile deformations of the folding foliation type etc.) and presence of groundwater. An example of an output of geological documentation of portal walls is in Fig. 9, which expresses the actually encountered engineering geological conditions of the wall S53 of the exit portal of the Deboreč tunnel within the borders of the completed part of the pit excavation. A modified view of portal wall S53 borrowed from the construction documentation was used as a basis for plotting the engineering geological conditions.

The internal surfaces of the excavated openings are documented similarly to the above-mentioned portal walls. Each excavation round is documented, with the output containing a list of engineering geological data comprising a diagram of the excavation face with a focus on describing engineering geological conditions and a text record of the found facts including the evaluation of rock mass quality according to the RMR. In addition, technical measures and elements directly affecting conditions for tunnel excavation or stability of the excavation are recorded, commented or, possibly, recommended. Photo documentation is commonplace. The engineering geological data list together with empirical data of other methods of geotechnical monitoring form a base document for determination of the system of tunnel excavation support, i.e. the excavation support class.

The engineering geological types of soils and rock encountered in the walls of the portal pits and in the so far finished excavation of the Deboreč tunnel are briefly described below.



Obr. 9 Pohled na portálovou stěnu S53 výjezdového portálu tunelu Deboreč se zachycením skutečně zastížených inženýrskogeologických poměrů  
Fig. 9 A view of portal wall S53 of the Deboreč tunnel exit portal showing the actually encountered engineering geological conditions

Z naměřených hodnot je z každého záběru sestrojena křivka skutečného tvaru výrubu, která je průběžně porovnávána s teoretickým tvarem výrubu a z rozdílů obou křivek jsou vyčísleny hodnoty nadvýrubů/podvýrubů. Doposud zaměřené jednotlivé nadvýrubu jsou malé a dosahují většinou hodnot do 1 m<sup>3</sup>, ojediněle byla hodnota 1 m<sup>3</sup> překročena.

Po ukončení ražeb bude provedeno skenování povrchu primárního ostění laserovým skenerem pro potřeby jeho reprofilace před pokládkou hydroizolačního souvrství. Tvar naskenovaného povrchu bude vztažen k nominálnímu profilu, který je tvořen rubem sekundárního ostění. Z výsledků měření budou zřejmé konkrétní odchylky mezi tvarem skutečného povrchu primárního ostění a nominálním profilem.

### Inženýrskogeologická dokumentace

Průběžné odkryvy stěn portálových jam byly a jsou detailně inženýrskogeologicky a fotograficky dokumentovány se zaměřením na litologii a stupeň zvětrání přítomných hornin, strukturní prvky (diskontinuitní systémy, případně duktilní deformace typu zvrásněné foliace apod.) a přítomnost podzemní vody. Příkladem výstupu inženýrskogeologické dokumentace portálových stěn je obr. 9, který v hranicích vyhloubené části graficky vyjadřuje skutečně zastížené inženýrskogeologické poměry portálové stěny S53 výjezdového portálu tunelu Deboreč. Jako podklad pro zakreslení inženýrskogeologických poměrů byl použit upravený pohled na portálovou stěnu S53 převzatý z realizační dokumentace stavby.

Podobně jako výše zmíněné portálové stěny jsou dokumentovány líce výrubu. Dokumentován je každý záběr, přičemž výstupem je inženýrskogeologický pasport, zahrnující náčrty čelby se zaměřením na zachycení inženýrskogeologických poměrů a textovým záznamem zjištěných skutečností, včetně zhodnocení kvality horninového masivu dle zásad klasifikace RMR. Zaznamenávají, komentují, případně doporučují jsou rovněž technologická opatření a prvky, které přímo ovlivňují podmínky ražby, respektive stabilitu výrubu. Samozřejmostí je fotodokumentace. Inženýrskogeologický pasport tak, společně s empirickými daty dalších metod geotechnického monitoringu, tvoří podklad pro určení způsobu využití tunelu, tj. technologické třídy výrubu.

Inženýrskogeologické typy zemin a hornin zastížené ve stěnách portálových jam a doposud vyraženém úseku tunelu Deboreč jsou stručně popsány níže.

### Kvartérní sedimenty

Kvartérní sedimenty byly na výjezdovém portálu reprezentovány 1,5–2 m mocnou polohou písčitých hlín až hlinitých písků se štěrky a kameny, tuhé až pevné konzistence (Q1), které při bázi přecházely až do hlinitých štěrků, ulehých až středně ulehých (Q2). Do profilu tunelu nezasahovaly.

### Ruly zcela zvětralé, rozložené, místy až charakteru písčitých zemin s jemnozrnnou příměsí a úlomky (H1)

Pararuly jsou zcela zvětralé až rozložené, s extrémně nízkou až velmi nízkou pevností, rezavě hnědé, rozpadavé převážně na jílovitý písek s úlomky pevnějších jader rul v proměnlivém zastoupení. Významný je proces argilitizace (zjílovění), místy charakteru kaolinizace (šedobílé zbarvení horniny). Na výjezdovém portálu tvoří zónu dosahu přepovrchového zvětrávání v bezprostředním podloží kvartérních sedimentů, která místy, zejména podél zlomových zón, zasahuje hlouběji do masivu. Ve vyražené části tunelu (TM 49–123) měl tento inženýrskogeologický typ výrazné, avšak proměnlivé zastoupení (v řádu desítek procent) v prvních desítkách metrů, přičemž generálně jeho zastoupení postupně klesalo s rostoucím tunelmetrem (od vymizení v TM 94,0 nebyl opětovně dokumentován).

### Quaternary sediments

Quaternary sediments at the exit portal were represented by a 1.5–2m thick layer of sandy loams to loamy sands with gravel and boulders, with stiff to hard consistency (Q1), transiting even to compact to medium compact (Q2) loamy gravels. They did not expand into the tunnel cross-section.

### Gneiss completely weathered, decomposed, locally with the character of sandy soil with fine-grained admixture and fragments (H1)

Paragneiss completely weathered up to decomposed with extremely low to very low strength, rusty brown, disintegrated mostly to clayey sand with fragments of stronger cores of gneiss with variable representation. The process of clay enrichment, locally with the character of kaolinitisation (grey-white colouring of ground), is important. At the exit portal it forms a zone of the reach of near-surface weathering in the immediate base of Quaternary sediments, which locally, mainly along fault zones, extends deeper into the massif. In the completed part of the tunnel excavation (TM 49–123) this engineering geological type had significant but variable representation (within the order of tens of per cent) in initial tens of metres, with its representation in general gradually decreasing along with the growing tunnel metre (it has no more been documented since its disappearance at TM 94.0).

### Gneiss heavily weathered (H2)

Paragneiss heavily weathered, mostly with very low strength (although layers with extremely low or, in contrast, up to low strength occur), rusty brown, distinctively banded, with very high to extremely dense spacing of joints in minimally 3 systems causing disintegration of rock into rhomboid to tabular fragments with the prevailing size of up to 20cm. Nevertheless, the layers with extremely low strength disintegrate even to clayey-sandy soils. Conversely, layers with low strength are formed by fragments with the size up to 20cm. Coats formed by iron and manganese oxides (rusty brown respectively dark violet-brown) are abundant on discontinuity surfaces. At the exit portal, this engineering geological type forms the lower parts of portal walls down to the excavation base (with the exception of fault zones). The representation in the completed part of the tunnel excavation varies within the order of tens of per cent throughout its length.

### Gneiss moderately weathered (H3)

Paragneiss moderately weathered, mostly with low to medium strength, brown-grey, banded, with very closely spaced joints causing disintegration of rock into rhomboid to tabular fragments with the sizes within the order of decimetres. Coats formed by iron oxides and hydroxides and manganese oxides (rusty brown respectively dark violet-brown) are locally documented on discontinuity surfaces. This engineering geological type is not present at the exit portal. The first occurrence within the framework of the completed excavation section is documented ca at TM 55 (i.e. already after 6m of excavation) and its representation generally grows with growing tunnel metres.

### Tectonic disturbance to the massif

The tectonic disturbance to the massif can be best illustrated by means of contour diagrams of the poles of discontinuity surfaces projected on the lower hemisphere of Lambert's space (the equal angle projection was chosen) developed here for the exit portal of the Deboreč tunnel and for the preliminarily determined quasihomogeneous block (hereinafter referred to as QHB) No.1 of the Deboreč tunnel at TM 49.0–94.0.

The contour diagrams in Fig. 10 display the measurement of foliation at the exit portal (left side, 50 measurements) and in the QHB No.1 (right side, 47 measurements). With respect to the



### Ruly silně zvětralé (H2)

Pararuly jsou silně zvětralé, převážně s velmi nízkou pevností (vyskytují se však i polohy s extrémně nízkou či naopak až nízkou pevností), rezavě hnědé, výrazně páskované, s velmi velkou až extrémně velkou hustotou diskontinuit v minimálně třech systémech, které způsobují rozpad horniny na kosoúhlé až deskovité úlomky o převažující velikosti v řádu centimetrů. Polohy s extrémně nízkou pevností se nicméně rozpadají až na jílovitopísčité zeminy, naopak polohy s nízkou pevností tvoří úlomky o velikosti až 20 cm. Na plochách diskontinuit jsou velmi hojně povlaky oxidů a hydroxidů železa a manganu (rezavě hnědé, respektive tmavě fialovohnědé). Na výjezdovém portálu tvoří tento inženýrskogeologický typ spodní partie portálových stěn až k bázi výkopu (kromě zlomových zón). Zastoupení ve vyražené části tunelu se v celé její délce pohybuje v řádu desítek procent.

### Ruly mírně zvětralé (H3)

Pararuly se vyskytují mírně zvětralé, převážně s nízkou až střední pevností, hnědošedé, páskované, s velmi velkou hustotou diskontinuit, které způsobují rozpad horniny na kosoúhlé až deskovité úlomky velikosti v řádu decimetrů. Na plochách diskontinuit jsou místy dokumentovány povlaky oxidů a hydroxidů železa a manganu (rezavě hnědé, respektive tmavě fialovohnědé). Na výjezdovém portálu tento inženýrskogeologický typ není zastoupen. V rámci vyraženého úseku je první výskyt dokumentován cca v TM 55 (tj. již po 6 m ražeb) a jeho zastoupení s rostoucím tunelmetrem generelně roste.

### Tektonické porušení horninového masivu

Tektonické porušení horninového masivu lze nejlépe ilustrovat pomocí konturových diagramů pólů ploch diskontinuit promítaných na spodní hemisféru Lambertova prostoru (zvolena „equal angle“ projekce), zde zpracovaných pro výjezdový portál tunelu Deboreč a předběžně stanovený 1. kvazihomogenní blok (dále pouze 1. KHB) tunelu Deboreč v TM 49,0–94,0.

Konturové diagramy na obr. 10 zobrazují měření foliace na výjezdovém portálu (vlevo, 50 měření), a v 1. KHB (vpravo, 47 měření). Vzhledem k počtu a orientaci měření bylo ve stereografické projekci možno zobrazit též průměty rovin se spodní polokoulí. Fialový, středem vedoucí průmět v pravém diagramu (a diagramech následujících) reprezentuje osu tunelové roury v 1. KHB. Z diagramů je zcela jasně patrné, že generelní směr sklonu/sklon páskování rul v oblasti výjezdového portálu se pohybuje v hodnotách 270–290°/30–45°, a v oblasti 1. KHB v hodnotách 250–270°/30–40°. Výrazně méně zastoupené subvertikální páskování v levém diagramu obr. 10 (výjezdový portál), reprezentované pólovými konturami při jeho západním a východním okraji (generelně 270°/85–90° až s překlápěním) představuje vyvlečení foliace na kontaktu s kvarténními sedimenty. Foliace je převážně rovinná, či jen mírně zvlněná, hladká, sevřená. Výraznější zvrásnění se vyskytuje pouze v bezprostředním okolí zlomových zón. Směr ražby je od SZ k JV, úklon foliace při její stávající orientaci je tedy šikmo proti směru ražby (šikmo do vyrubaného prostoru s průměrnou odchylkou směru rovin foliace od směru osy tunelu cca 40°), a vzhledem ke sklonu tak má nepříznivou orientaci ve smyslu klasifikace RMR.

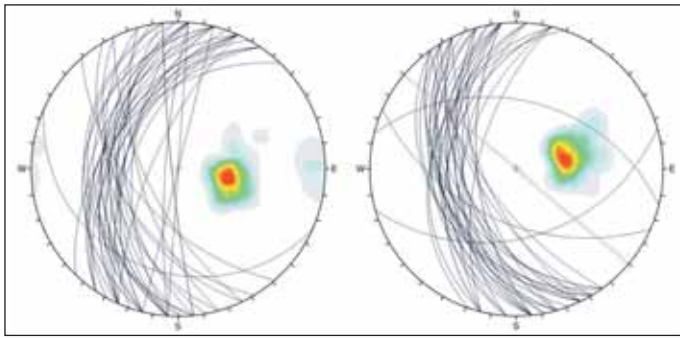
Konturové diagramy na obr. 11 prezentují veškerá měření puklin v rámci dokumentace výjezdového portálu (vlevo, 358 měření), respektive 1. KHB (vpravo, 128 měření). Z diagramu vlevo jsou patrné poměrně proměnlivé směry měřených puklin s úklonem nejčastěji 60–90°. Vyskytují se však i úklony nižší. Tři směry jsou nicméně převažující. Jedná se o směry sklonu/sklony 135–160°/60–75°, 50–70°/60–70° a směr 195–210°/80–90° s překlápěním do směru 10–30°/70–90°. Z diagramu vpravo vyčnívá systémem 145–155°/80–90° s překlápěním do směru 325–335°/85–90°,

number and orientation of the measurements, it was possible to display even the projection of planes in the lower hemisphere in the stereographic projection. The violet projection leading through the centre in the right-hand diagram (and the following diagrams) represents the centre line of the tunnel tube in the QHB No. 1. It is clearly obvious from the diagrams that the general trend/dip of banding of gneiss in the area of the exit portal ranges within the values of 270–290°/30–45°, whilst in the area of the QHB No. 1 it is within the values of 250–270°/30–40°. The significantly less represented sub-vertical banding in the left-hand diagram in Fig. 10 (exit portal), which is represented by polar contours at its western and eastern edge (generally 270°/85–90° up to flipping over) represents pulling back the foliation at the contact with Quaternary sediments. The foliation is mostly planar or only moderately undulated, smooth, tight. More pronounced folding occurs only in the immediate surroundings of fault zones. The direction of the tunnel excavation is from NW toward SE, the foliation dipping at its current orientation is therefore at an angle against the direction of the tunnel excavation (obliquely into the excavated space with an average deviation of the direction of the foliation planes from the direction of the tunnel centre line of ca 40°. With respect to the dip, the tunnel orientation is unfavourable as far as the RMR rating is concerned.

The contour diagrams in Fig. 11 present all measurements of fissures within the framework of the documentation of the exit portal (left side, 358 measurements), respectively the QHB No. 1 (right side, 128 measurements). Relatively variable directions of the measured fissures with the dip mostly 60–90% are visible pictured left in the diagram. But even lower dips are encountered. Nevertheless, three following trends and dips prevail: 135–160°/60–75°, 50–70°/60–70° and 195–210°/80–90° with flipping over to the trend/dip 10–30°/70–90°. The system 145–155°/80–90° with flipping over to the direction 325–335°/85–90° or to the system 15–30°/75–85° protrudes from the diagram on the right side. The fissures are mostly planar, less frequently up to undulated, smooth. Iron and manganese oxide and hydroxide coating is abundant. Their aperture of fissures only rarely exceeds 1mm.

The final pair of contour diagrams in Fig. 12 displays poles of the surfaces interpreted as fault zones (left side, 94 measures) and veins (right side, 22 measurements) within the framework of the preliminary QHB No. 1 of the Deboreč tunnel. The correlation between the directions of faults and veins is evident at first sight. With high probability, the veins used the pre-existing preference routes for their intrusions. The direction 15–40°/50–70° common for both diagrams is most distinct. The direction of faults 225–280°/40–55° approaches the direction of foliation (see Fig. 10, right side). It is only little steeper, indicating that the orientation of some faults, at least in the part of its courses, approximately copies the orientation of foliation, again in the meaning of the predisposition. Even here the veins are locally an accompanying element of fault zones. The fault zones are relatively well localised, planar, usually decimetres wide, exceptionally even over 1m. Within the framework of the zone, the rock is crushed, relatively more weathered, generally with lower strength, in extreme cases with the character of up to sandy-clayey soil. The main direction of fault zones approximates the direction of the centre line of the tunnel. The gradual onset and relatively long presence of the fault zones within the tunnel cross-section, as well as the mostly unfavourable to very unfavourable orientation in the meaning of the RMR rating (in the cases of steeper ones), follow from the main directions of the fault zones approaching the direction of the tunnel centre line.

Only a small number of fault zones were found in the walls of the exit portal. They are non-localised, manifest themselves by more distinct weathering (mainly by turning to clay including



Videňský, 2019 Videňský, 2019

Obr. 10 Konturové diagramy pólů ploch foliace na výjezdovém portálu (vlevo, 50 měření) a předběžném 1. KHB (vpravo, 47 měření) tunelu Deboreč  
 Fig. 10 Contour diagrams of poles of foliation surfaces at the exit portal (left side, 50 measurements) and the preliminary QHB No. 1 (right side, 47 measurements) of the Deboreč tunnel

případně systém  $15\text{--}30^\circ/75\text{--}85^\circ$ . Pukliny jsou převážně rovinné, méně často až zvlněné, hladké, hojně s povlaky oxidů a hydroxidů železa a manganu. Jejich rozevření pouze zřídka překračuje 1 mm.

Závěrečný pár konturových diagramů na obr. 12 zobrazuje póly ploch interpretovaných jako zlomové zóny (vlevo, 94 měření) a žíly (vpravo, 22 měření) v rámci předběžného 1. KHB tunelu Deboreč. Na první pohled je patrná korelace mezi směry zlomů a žil. Žíly zde tak ke svým intruzím s vysokou pravděpodobností využívaly pre-existující preferenční cesty. Nejvýraznější je směr  $15\text{--}40^\circ/50\text{--}70^\circ$  společný pro oba diagramy. Směr zlomů  $225\text{--}280^\circ/40\text{--}55^\circ$  se blíží směru foliace (obr. 10 vpravo), jen je mírně strmější, a naznačuje tak, že orientace některých zlomů, přinejmenším v části svých průběhů, přibližně kopíruje orientaci foliace, opět ve smyslu predispozice. I zde jsou žíly místy doprovodným prvkem zlomových zón. Zlomové zóny jsou relativně dobře lokalizované, rovinné až zvlněné, obvykle širší decimetrů, výjimečně i více než 1 m. V rámci zóny je pak hornina podrcená, relativně více zvětřalá, celkově s nižší pevností, v extrémních případech až charakteru písčitojílovité zeminy. Hlavní směry zlomových zón se blíží směru osy tunelu, z čehož plyne jejich postupný nástup, a jejich poměrně dlouhé setrvání v profilu tunelu, potažmo (u těch strmějších) jejich převážně nepříznivá až velmi nepříznivá orientace ve smyslu klasifikace RMR.

Ve stěnách výjezdového portálu byl zachycen pouze malý počet zlomových zón. Jsou nelokalizované, projevují se výraznějším zvětřáním (zejména zjílověním včetně kaolinizace) v mase horniny, všesměrným a velmi hustým rozpukáním, případně výše zmíněným zvrásněním foliace. Exaktní měření orientace těchto zlomových zón je však vzhledem k nepřítomnosti jasně omezených ploch extrémně obtížné, a lze ho spíše odvozovat z generelního průběhu pásů horniny s výše uvedenými vlastnostmi. Z tohoto důvodu zde nejsou předpokládány zlomové zóny výjezdového portálu vyobrazeny konturovým diagramem.

### Shrnutí poznatků z inženýrskogeologické dokumentace

Z inženýrskogeologické dokumentace byla zjištěna foliace horninového masivu orientovaná převážně „šikmo“ do volného, vyrubaného prostoru. To při otvírce negativně ovlivňuje stabilitu výrubu, a s ohledem na průběžná měření orientace foliace na výjezdovém portálu a výsledky podrobného geotechnického průzkumu lze predikovat, že tomu tak bude po celou dobu ražeb.

Zlomové zóny, díky soudržnosti výplně (relativně vysoký obsah jílovité frakce) ve spojení s nepřítomností podzemní vody, a využitím značně robustních technologických opatření (spojených zejména s třídou 5b1), doposud nezpůsobily výraznější problémy při ražbě tunelu Deboreč, a to navzdory své nepříznivé až velmi nepříznivé orientaci.

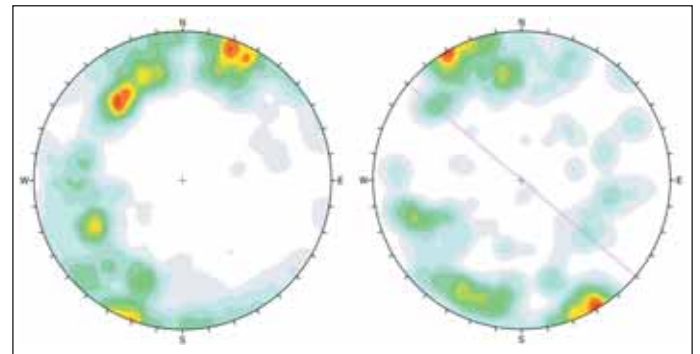
kaolinitizací) in the rock mass, omnidirectional and very dense fracturing, possibly by the above-mentioned folding of foliation. Exact measurement of the orientation of the fault zones is extremely difficult with respect to the absence of clearly delimited discontinuity surfaces and it is therefore possible rather to deduce it from the general course of strips of rock with the above-mentioned properties. This is the reason why the anticipated fault zones at the exit portal are not displayed using the contour diagram.

### Summary of findings from engineering geological documentation

The foliation of the rock massif oriented mostly at a “skew” to the free excavated space was identified from the engineering geological documentation. This fact negatively influences the excavation stability when the excavation is being opened and, with respect to the continual measurements of the orientation of foliation at the entrance portal and the results of detailed geotechnical investigation, it is possible to predict that it will be so throughout the tunnel excavation duration.

Thanks to the cohesion of the filling (relatively high content of clayey fraction) in combination with the absence of groundwater and with the application of significantly robust technical measures (associated mainly with excavation support class 5b1), the fault zones have not caused more serious problems during the course of the Deboreč tunnel excavation, despite their unfavourable orientation.

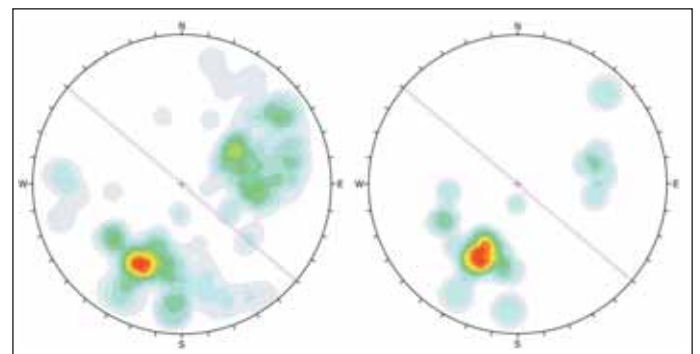
Only limited groundwater inflows have been documented yet; the excavation faces have most frequently been described as wet,



Videňský, 2019 Videňský, 2019

Obr. 11 Konturové diagramy pólů puklinových ploch na výjezdovém portálu (vlevo, 358 měření) a předběžném 1. KHB (vpravo, 128 měření) tunelu Deboreč

Fig. 11 Contour diagrams of poles of fissure surfaces at the exit portal (left side, 358 measurements) and the preliminary QHB No. 1 (right side, 128 measurements) of the Deboreč tunnel



Videňský, 2019 Videňský, 2019

Obr. 12 Konturové diagramy pólů ploch interpretovaných jako zlomové zóny (vlevo, 94 měření) a žíly (vpravo, 22 měření) v rámci předběžného 1. KHB tunelu Deboreč

Fig. 12 Contour diagrams of poles of surfaces interpreted as fault zones (left side, 94 measurements) and veins (right side, 22 measurements) within the framework of the preliminary QHB No. 1 of the Deboreč tunnel



Dokumentovány byly doposud pouze minimální přítoky podzemní vody, čelby jsou popisovány nejčastěji jako vlhké, místy až suché. Maximální, avšak málo časté výskyty podzemní vody lze popsat jako lokální kapání v řádech  $<0,05$  l/s, především ve spodní části boků kalot, lavic a ve výrubu dna.

Geologicky podmíněné nadvýlomy jsou díky výše zmíněným faktům doposud minimální, v jednotlivých stavebních postupech v řádu zcela výjimečně překračujícím  $1 \text{ m}^3$ . Nezajištěný výrub lze popsat jako dočasně stabilní. K významnějšímu vypadnutí horniny mimo profil výrubu v dosavadním průběhu ražby nedošlo. Nicméně vyjíždění bloků hornin z čelby v řádu i více než  $10 \text{ m}^3$  po nepříznivě ukloněných systémech diskontinuit, a s ním spojené lokální zvětšení délky nezajištěného výrubu bylo několikrát zaznamenáno. Inženýrskogeologické podmínky ražby doposud zhotovené části tunelu Deboreč lze označit za odpovídající či mírně příznivější, než jaká byla predikce v dokumentaci pro zadání stavby, resp. v podrobném geotechnickém průzkumu.

## ZÁVĚR

Z výsledků realizovaných měření na hloubených úsecích tunelu lze konstatovat, že deformační chování pažených svislých konstrukcí i svahovaných partií jam bylo v předpokládaných mezích. Varovný stav zde byl překročen pouze jednou u hodnoty sedání na portálové jámě výjezdového portálu.

Z doposud získaných poznatků při ražbě (k 9. 5. 2019 bylo vyraženo 74 m z celkových 562 m) je pravděpodobné, že díky příznivému deformačnímu chování horninového masivu bude možno využít větší procento subtilněji vystrojených tříd, než bylo předpokládáno v realizační dokumentaci. Nicméně problémem při ražbě jsou nepříznivě orientované systémy diskontinuit, které zapříčiňují lokální vypadávání horniny z čelby. Tyto nepříznivě orientované diskontinuitní systémy, zejména se jedná o foliaci a část zastížených zlomových zón, se předpokládají po celou dobu ražeb. Aby se vypadávání neprojevovalo nad teoretickým obrysem výrubu, bude třeba důsledně jehlovat přístropí, či v případě výrazného zhoršení geologických poměrů opětovně využít i dalších technologických opatření a prvků typu korekce délky záběru, kotvení čelby, injektáží apod. Očekávaným faktorem, negativně ovlivňujícím stabilitu nezajištěného výrubu, je přítomnost podzemní vody. Při hloubení vjezdového portálu, ke kterému ražby směřují, jsou v jámě dokumentovány nezanedbatelné přítoky podzemní vody. Je tedy jen otázkou času, kdy se voda objeví i při ražbě.

*Ing. MILAN KÖSSLER,*  
*milan.kossler@geotechnika.cz,*

*Mgr. ALEŠ VÍDEŇSKÝ,*  
*ales.vidensky@geotechnika.cz, SG Geotechnika a.s.*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.

locally even dry. Maximum occurrence of groundwater, even though infrequent, can be described as local dripping within the orders  $<0,05$  l/s, first of all in the lower part of top heading and bench sidewalls and in the bottom excavation.

Thanks to the above-mentioned facts, geologically conditioned overbreaks have so far been minimal, only exceptionally exceeding the order of  $1 \text{ m}^3$  in individual excavation rounds. The unsupported excavation can be described as temporarily stable. No more significant falling of rock outside the excavation cross-section has occurred. Nevertheless, sliding of blocks from the excavation face within the order even higher than  $10 \text{ m}^3$  along unfavourably dipping discontinuity systems and locally increased length of the unsupported excavation accompanied with it have been recorded several times. The engineering geological conditions of the excavation of the so far finished part of the Deboreč tunnel can be labelled as adequate or slightly more favourable than the conditions predicted in the tender design and by the detailed geotechnical investigation.

## CONCLUSION

It is possible to state on the basis of the measurements conducted on the cut-and-cover sections of the tunnel that the deformational behaviour of the braced vertical structures as well as the sloped parts of the pits was within the assumed limits. The alert state was exceeded only once in the value of settlement at the exit portal pit.

It is likely from the knowledge learned so far from the tunnel excavation (as of 9<sup>th</sup> May 2019, the excavation of 74m of the total of 562m has been finished) that, thanks to the favourable deformational behaviour of the ground mass, it will be possible to use a higher percentage of more subtly supported classes than assumed in the detailed design. Nevertheless, the unfavourably oriented discontinuity systems causing local falling of rock blocks from excavation face have been a problem during the tunnel excavation. These unfavourably oriented discontinuity systems, first of all foliation and part of the fault zones encountered, are expected for the whole time of the excavation. To prevent falling of rock over the theoretical excavation contour, it will be necessary to consistently install needles in the top heading or, in the case of significant deterioration of geological conditions, repeatedly use even other technical measures and elements of the type of correction of the excavation round length, anchoring of excavation face, grouting etc. Presence of groundwater is an anticipated factor negatively influencing the stability of unsupported tunnel excavation. Not negligible groundwater inflows are documented during the course of the excavation of the pit for the entrance portal toward which the tunnel excavation is heading. It is therefore only a matter of time when water will appear even during tunnel excavation.

*Ing. MILAN KÖSSLER,*  
*milan.kossler@geotechnika.cz,*  
*Mgr. ALEŠ VÍDEŇSKÝ,*

*ales.vidensky@geotechnika.cz, SG Geotechnika a.s.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25 Tunel Deboreč, obecná část*, MPI projekt s.r.o., září 2018
- [2] PRŮCHA, T., URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-01 Tunel Deboreč, hloubená část, vjezdový portál*, MPI projekt s.r.o., září 2018
- [3] URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-02 Tunel Deboreč, ražená část*, MPI projekt s.r.o., říjen 2018
- [4] PRŮCHA, T., URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-03 Tunel Deboreč, hloubená část, výjezdový portál*, MPI projekt s.r.o., srpen 2018
- [5] SMOLAŘ, Z. *Modernizace trati Sudoměřice Votice, geotechnický a hydrogeologický průzkum, tunel Deboreč*, GeoTec – GS, a.s., leden 2013
- [6] KRAMEŠ, M., GRAMBLIČKOVÁ, I. *Modernizace trati Sudoměřice Votice, celková situace stavby, Sudop Praha, a.s.*, leden 2013