

GEOTECHNICKÝ DOHLED PŘI BUDOVÁNÍ ŽELEZNIČNÍHO SUDOMĚŘICKÉHO TUNELU NA IV. TRANZITNÍM KORIDORU V ČR

GEOTECHNICAL SUPERVISION DURING CONSTRUCTION OF SUDOMERICE TUNNEL ON 4TH RAILWAY TRANSIT CORRIDOR IN CZECH REPUBLIC

Milan Kössler¹, Marián Steiger², Vladimír Táborský³

ABSTRAKT

Ve druhé polovině roku 2013 se rozběhly stavební práce na Sudoměřickém tunelu, který je stavěn v rámci modernizace IV. tranzitního železničního koridoru v úseku Tábor – Sudoměřice u Tábora v ČR. Tunel je 444 m dlouhý, z toho je 420 m ražených a po dvanácti metrech mají shodně jižní i severní hloubené části. Tunel byl ražen Novou rakouskou tunelovací metodou, pouze jižní část, která podchází stávající silnici I/3, byla budována systémem „želva“. Tunel byl ražen v horninách moldanubika, které byly representovány rulami různého stupně zvětrání a rozpukání. Naše společnost na tomto tunelu prováděla geotechnický a stavební dozor a byla zde rovněž zhotovitelem geotechnického monitoringu. Podzemní dílo bylo zdárně vyraženo v červnu 2014. Následné stavební práce, spočívající v instalaci hydroizolačního a drenážního systému a ve vybudování sekundárního monolitického ostění, byly dokončeny v prosinci 2014. V současné době v tunelu probíhají dokončovací práce. Předpoklad předání dokončeného tunelu do zkušebního provozu je v srpnu letošního roku. Tím se o několik minut zrychlí doprava v úseku Tábor - Sudoměřice. Po modernizaci celého IV. koridoru se můžeme těšit na zkrácení jízdní doby vlaků z Českých Budějovic do Prahy z původních 2 h 30 min na 1 h 45 min.

ABSTRACT

The construction work on the Sudomerice tunnel, which is built within the framework of the modernisation of the 4th railway transit corridor in section Tábor – Sudomerice u Tabora, started in the second half of the year 2013 in the Czech Republic. The tunnel is 444 m long. 420m were built by mining and the excavated parts on the south and north portals are 12 m long. The tunnel was built using the principles of the NATM, only the south part under the road I/3 was built with technique “turtle shell”. The tunnel was built through Moldanubic rock types, which were represented by gneiss which had various rate of weathering. Our company carried out geotechnical and construction supervision on the tunnel and we also did geotechnical monitoring. The underground construction was successfully mined in June 2014. The following works, which included installation of waterproof and drainage system and construction of the secondary lining, were finished in December 2014. The final works in the tunnel are being done nowadays. It is assumed that tunnel will be in operation in August 2015. The journey will be faster by several minutes between Tabor and Sudomerice. After the completion of the 4th corridor modernisation, the travel time of trains from Ceske Budejovice to Prague will be reduced from the original 2 hours and 30 minutes to 1 hour and 45 minutes.

¹Ing. Milan Kössler, ARCADIS CZ, a.s., Geologická 4 152 00 Praha 5, tel.: +420724218670, e-mail: milan.kossler@arcadis.cz

²Mgr. Marián Steiger, ARCADIS CZ, a.s., Geologická 4 152 00 Praha 5, tel.: +420724371079, e-mail: marian.steiger@arcadis.cz

³Vladimír Táborský, SŽDC, státní organizace, Sokolovská 278/1955 190 00 Praha 9, tel.: +420724257180, e-mail: taborsky@szdc.cz

1 Úvod

Sudoměřický tunel je budován v rámci modernizace IV. tranzitního železničního koridoru v traťovém úseku Tábor – Sudoměřice u Tábora. IV. 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). Po dokončení modernizace IV. koridoru dojde ke zkrácení jízdní doby vlaků na celé trase z Českých Budějovic do Prahy z původních 2 h 30 min na 1 h 45 min.

Nově navržená trasa napřimuje v úseku Chotoviny – Sudoměřice původní oblouky malého poloměru, čímž dochází ke zvýšení maximální rychlosti vlaků až na 160 km/h z původních 90 km/h. Napřímená trať v tomto úseku prochází kopcovitým terénem, ve kterém projektant navrhl několik nových mostů, estakádu a také dvoukolejný tunel. Ten svým jižním portálem podchází pod stávající silnici č. I/3 České Budějovice – Praha, která je již v této lokalitě nahrazena novou souběžnou dálnicí D3. Celková délka tunelu činí 444 m, z toho je 420 m ražených (37 pasů), jeden dvanáctimetrový pas náleží jižnímu portálu a jeden dvanáctimetrový pas severnímu portálu.

Investorem představovaného projektu je SŽDC, státní organizace, zhotovitelem stavebních prací je společnost OHL ŽS, a. s., zhotovitelem geotechnického dozoru a monitoringu je firma ARCADIS CZ, a. s. Na projekčních pracích se podílely organizace SUDOP Praha, a. s., co by zpracovatel dokumentace pro zadání stavby a IKP Consulting Engineers, s.r.o., co by zpracovatel realizační dokumentace stavby.

2 Stručný popis stavebnětechnického řešení

Ražený Sudoměřický tunel byl budován konvenčně tzv. Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) a je konstruován jako dvouplášťový (primární a sekundární ostění) s mezilehlou fóliovou hydroizolací. Primární ostění bylo v projektu realizační dokumentace rozděleno do pěti technologických tříd výrubu (TTV), ze kterých byly při vlastní ražbě využity jen třídy čtyři označené III, IV, Va a Vc. Nejsubtilnější třída II nebyla při ražbě v daných geologických podmínkách využita. Primární vystrojení je tvořeno ocelovými příhradovými rámy, stříkaným betonem C 20/25 tloušťky od 20 cm do 30 cm (podle použité TTV) vyztuženým ocelovými sítěmi, svorníky a ocelovými jehlami pro ochranu přístropí. Sekundární ostění je lité z železobetonu, příp. z betonu nevyztuženého třídy C 25/30. Pouze dva příportálové pásy z každé strany tunelu jsou z důvodu zvýšeného namáhání teplotními změnami navrženy z monolitického železobetonu C 30/37. Sekundární ostění má v ražené části navrženou tloušťku 30 cm, pod želvou činí tloušťka 35 cm a jižní a severní hloubený pás mají tloušťku definitivního ostění 60 cm.

Ražba tunelu probíhala dovrčně směrem od vjezdového jižního portálu směrem k portálu výjezdovému. Při ražbě bylo dodržováno horizontální členění – v předstihu ražena kalota (cca 60 m²) s následným dotěžením opěří (cca 40 m²). TTV III byla využita v nejpříznivějších geologických podmínkách, a byla tudíž nejsubtilněji vystrojena a měla nejdelší stavební postup (max. 2 m). Naopak třída Va byla aplikována do nejnepříznivějších geologických poměrů, a byla tudíž nejmasivněji vystrojena a měla nejkratší stavební postup (max. 1 m). Třída Vc byla určena pro úsek dl. 50 m přilehlý jižnímu portálu, který podchází stávající silnici č. I/3. Pro podchod pod touto komunikací bylo v realizační dokumentaci zvoleno alternativní řešení. To spočívalo ve vybudování železobetonové klenby délky 50 m pod předmětnou silnicí v otevřené pažené stavební jámě, následném zasypání jámy a tunelováním

pod ochranou této konstrukce (želvy). Podmínkou bylo získání povolení pro přerušení dopravy od správce komunikace (ŘSD) v době otevření jámy (cca 2 měsíce). Toto povolení se zhotoviteli díla podařilo získat díky tomu, že silnice I/3 je dnes již nahrazená novou paralelní dálnicí.

Podélný sklon tunelu 8,6 ‰ umožňuje jeho průběžné podélné odvodnění. Voda je odváděna boční a středovou tunelovou drenáží k vjezdovému portálu tunelu. Systém odvodnění je navržen tak, že sklon tunelové drenáže je shodný se sklonem trati. V každém druhém záchranném výklenku (vzdálenost 48 m) je umístěna šachta na čištění boční tunelové drenáže. Jižní i severní portálová jáma byla budována jako svahovaná se sklony od 5:1 ve skalní hornině až po sklony 1:1,5 v pokryvných zeminách. Ve spodních strmých etážích je zajištění svahů provedeno pomocí SN kotev a stříkaného betonu vyztuženého ocelovou sítí. Ve svrchních etážích s mírnějším sklonem jsou svahy proti erozi zajištěny plastovými kotvenými sítěmi. Severní portál byl vybudován včetně ochranného předstítka (falešného primáru) ze stříkaného betonu, ocelových příhradových rámců a ocelových sítí.

Pro potřeby výstavby tunelu byl zaveden pojem „tunelový metr“ (označení TM), který definuje v ose tunelu vzdálenost od jižního provizorního portálu, ve kterém byla zahájena ražba.

3 Inženýrskogeologické poměry zájmového území

Nadmořská výška terénu v ose tunelu stoupá od místa jižního portálu z kóty 535 m n. m. na nejvyšší bod s hodnotou 555 m n. m. a po té se opět svažuje k místu severního portálu na kótu 543 m n. m. Většina území nad tunelem je zemědělsky využívána, pouze v jižní příportálové části kříží tunel silnice č. I/3.

Podle geomorfologického členění ČR na „<http://geoportal.cenia.cz>“ území náleží do systému Hercynského, provincie Česká vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, oblasti Středočeská pahorkatina, celku Vlašimská pahorkatina, Tábořská pahorkatina, podcelku Mladovožická pahorkatina, Soběslavská pahorkatina a Okrsku Jankovská pahorkatina, Sezimoustecká pahorkatina.

Kvartérní pokryv je v trase tunelu zastoupen deluviálními sedimenty, jejichž mocnost se pohybuje od několika decimetrů až do 1 m. Pokryvné útvary jsou reprezentovány převážně hlinitopísčitymi zeminami, nejsvrchnější vrstva je humózní. Kvartérní sedimenty byly zastíženy a dokumentovány při hloubení portálových jam.

Tunel prochází v celé své trase horninami pestré moldanubické série. Konkrétně se jedná o biotit-silimanitické pararuly (dále v textu ruly), které jsou místy migmatitizované a s ojedinělými výskyty intruzí aplitických granitů. Horniny byly převážně středně až jemně zrnité, s různým stupněm alterace podél tektonických poruch, či podle mocnosti nadloží. Foliace rul byla generelně ve směru Z – V, tj. přibližně kolmo na osu raženého díla. Ruly byly mírně provrásněné se sklonem foliace 10 – 30° severně ve směru ražby po celé délce tunelu. Foliace masivu měla tedy příznivé uklonění – hornina zapadala do čelby. Plochy foliace rul měly převážně vzdálenost 10 až 20 mm. Hornina byla všesměrně rozpukaná, pukliny byly s výplní oxidů Fe, Mn, podrcené horniny, či s výplní měkkého jílu až šterku jílovitého mocnosti až 10 mm. Diskontinuity byly převážně sevřené či mírně otevřené do 2 mm, jejich hustota byla malá až střední.

Ruly byly nejprve v oblasti jižního portálu zcela zvětralé (R6 až R5), postupně velmi zvětralé (R4, místy až R3) v celém výrubu. S postupným zahlubováním do hory severním směrem klesal stupeň zvětrání a kvalita horniny rostla až do zdravé pevnosti R2. Ke konci ražby v oblasti severního portálu se kvalita horniny opět zhoršovala – byly zastíženy ruly mírně zvětralé třídy R4.

V trase tunelu byly dokumentovány výraznější tektonické linie řádově v mocnosti centimetrů až decimetrů (5–20 cm) vyplněné podrcenou horninou s měkkým šterkovitým jílem či podrcenou horninou. Diskontinuity měly různý směr (kosý i kolmý k ose tunelu) i sklon a většinou probíhaly skrze celý výrub.

Přítoky podzemní vody do výrubu byly ovlivněny klimatickými podmínkami (minimální množství dešťových srážek), tektonickým porušením hornin, stupněm zvětrání a mocností skalního nadloží.

Výrub byl v průběhu ražby převážně suchý až vlhký. Pouze v místech výraznějších tektonických poruch byly dokumentovány nesoustředné přítoky podzemní vody do raženého díla. Vydatnost přítoků byla do 0,01 l/s.

4 Geotechnický dohled v průběhu ražeb

Hlavními činnostmi v rámci geotechnického sledování ražeb byl geotechnický monitoring, technický dohled nad prováděním stavebních prací a geologická dokumentace nezajištěných částí výrubu

4.1 Monitoring v průběhu ražeb

V průběhu stavby byly měřeny, dokumentovány a vyhodnocovány údaje monitorující chování horninového prostředí, budovaných stavebních konstrukcí a také stávající okolní zástavby. Výsledky geomonitoringu byly spolu s geotechnickým sledováním ražeb podkladem pro zařídování do přiměřené TTV. Pro jednotlivá měření byly v projektu monitoringu stanoveny varovné stavy, jejichž překročení bylo nežádoucí. Konkrétní hodnoty varovných stavů vycházely buď z předpokládaných deformací stanovených v projektové dokumentaci (konvergence), nebo byly stanoveny na základě zkušeností získaných na již realizovaných tunelových stavbách (poklesy terénu, deformace portálových stěn), příp. byly převzaty z norem, či jiných předpisů (seismika, akustika). V rámci geomonitoringu byla mimo jiné prováděna tato konkrétní měření a sledování:

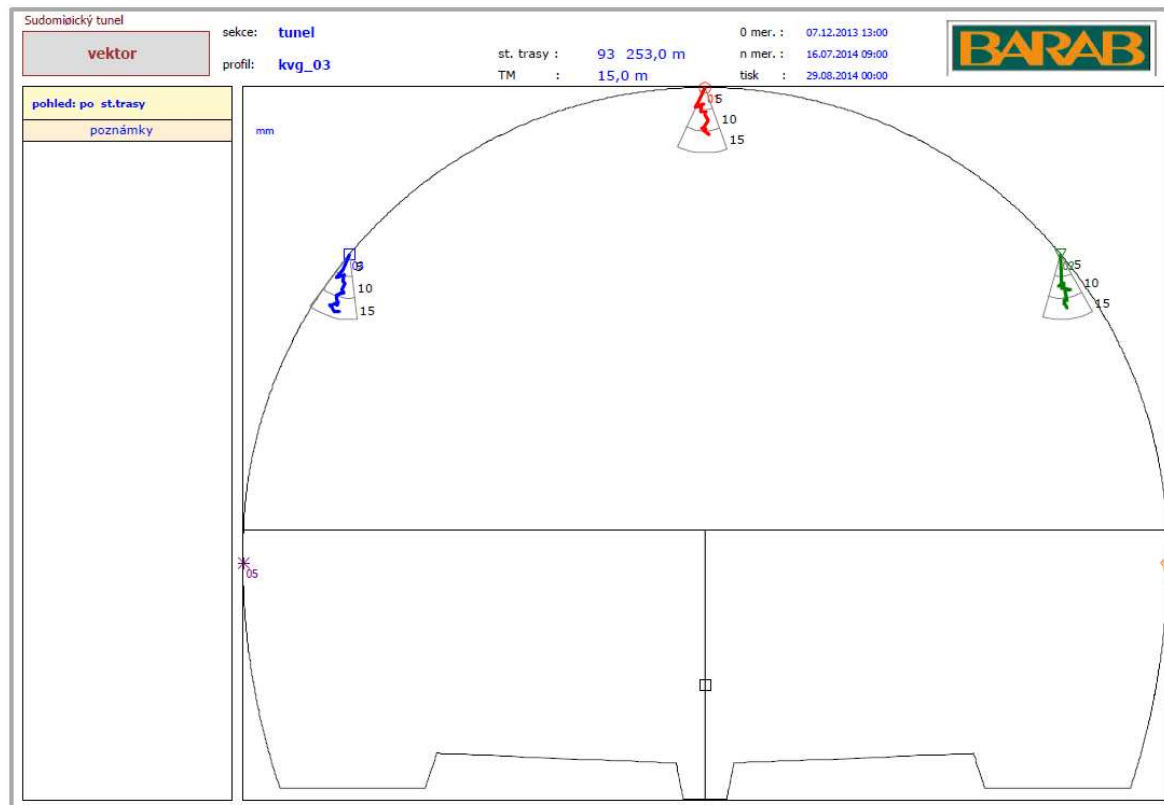
- měření deformací výrubu (konvergenční měření)
- geodetické sledování povrchu - nivelace
- geodetické sledování deformací svahů stavebních jam
- geodetická dokumentace výrubu kaloty (profilace)
- hydrogeologický monitoring okolních studní
- pasportizace okolní zástavby
- seismická a akustická měření
- měření zatížení primárního ostění – tenzometry
- měření tvaru primárního ostění – skenování

Naměřené veličiny byly v co nejkratší době vyhodnocovány a ukládány na internetový portál Barab v grafické i numerické formě. On-line přístup k výsledkům měli všichni předem odsouhlasení účastníci výstavby – investor, projektanti, zhotovitel, geotechnický dozor a konzultant.

4.1.1 Konvergenční měření

Radiální deformace byly naměřeny relativně malé, pohybovaly se do cca 15 mm, pouze ve staničení TM 39 a TM 320 byly deformace do 25 mm. Varovný stav, který pro TTV III, IV a Vc činil 30 mm a pro TTV Va 50 mm, nebyl tedy dosažen. Nulté měření je provedeno se zpožděním za ražbou, v okamžiku nultého měření je čelba min. o další záběr v předstihu. Body měřicího profilu se totiž osazují až do první vrstvy stříkaného betonu.

Lze tedy předpokládat, že skutečná deformace bude větší než deformace změřená. Průběh deformací konvergenčního profilu v TM 15 je uveden na obr. č. 1.



Obr. 1 Průběh deformací na KVG profilu v TM 15 (autor Ing. Filip Čermák)

Fig. 1 Development of the deformations on convergence profile in TM 15 (author Ing. Filip Cermak)

4.1.2 Nivelační měření

Po délce tunelu byly osazeny čtyři jedenáctibodové nivelační profily. Deformace terénu nad osou tunelu se ustálily do 10 mm a směrem od osy tunelu se jejich hodnota zmenšovala. Šířka poklesové kotliny činila cca 40 m se sklonem cca 1:2000. Varovný stav stanovený v projektu monitoringu na hodnotu 25 mm nad osou tunelu dosažen nebyl. Průběh deformací nivelačního profilu v TM 60 je uveden v příloze č. 6.

4.1.3 Sledování studen v zóně ovlivnění

Hydrogeologický monitoring probíhal ve vytipovaných vodních zdrojích v zóně ovlivnění ražbami cca v měsíční četnosti. Pro sledování byly zvoleny studny v obci Sudoměřice u Tábora a Moraveč u Chotovin, studny u dvou samot situovaných u stávající trati západně od tunelu a pramen s měřícím profilem ČHMÚ situovaný cca 200 m JZ od jižního portálu tunelu. Z naměřených výsledků vyplývá, že během sledovaného období došlo u většiny studen ke snížení hladin o cca 0,5 m až 2,0 m v období léta 2014. Na přelomu roku 2014/2015 je patrný návrat výšky hladin do původního stavu. Úbytek vody v létě 2014 nepřisuzujeme vlivu tunelování (tunel byl v průběhu ražeb převážně suchý), nýbrž suchému období, které trvalo v podstatě od počátku ražeb (prosinec 2013) do poloviny roku 2014.

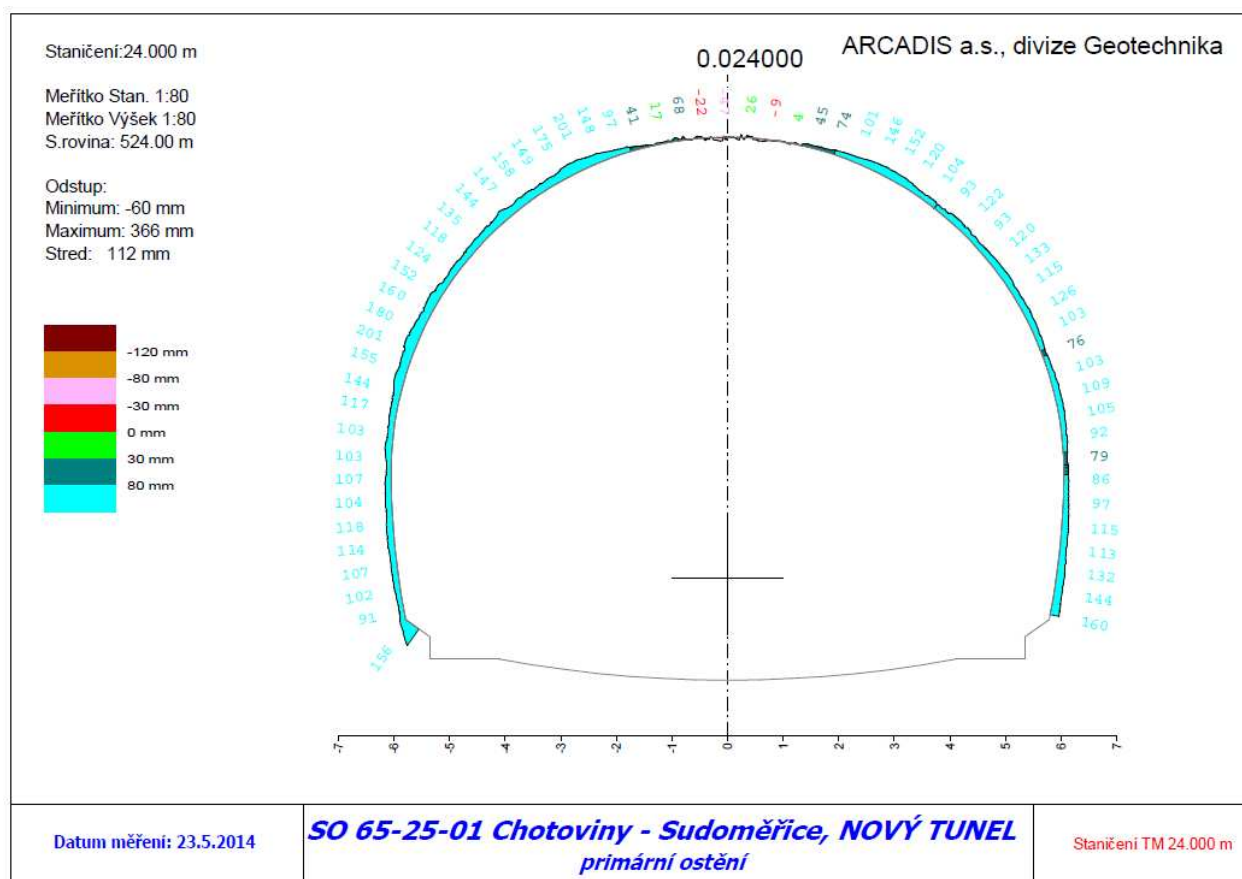
4.1.4 Seismická a akustická měření

Měření seismických účinků je nedílnou součástí bezpečnostních měření v předpokládaných zónách negativních účinků od trhacích prací. Měření se provádí v souladu s ČSN 73 7501 tak, aby bylo možné optimalizovat technologické postupy výstavby a sledovat účinky trhacích prací a tím chránit zájmy třetích osob. Pro Sudoměřický tunel byly osazeny 3 seismické stanice na okolních objektech – čerpací stanice RobinOil vzdálená cca 440 od tunelu, samota situovaná západně od tunelu v blízkosti stávající železniční tratě vzdálená cca 220 m od tunelu a dům v Sudoměřicích u Tábora č. p. 123 vzdálený cca 420 m od tunelu. Na těchto třech objektech byla prováděna průběžná měření s vyhodnocením účinků na stavby dle ČSN 73 0040. Byly naměřeny rychlosti kmitání pod hodnotou 1,0 mm/s, pouze 3. 2. 2014 byla naměřena hodnota 1,3 mm/s. Z hlediska normy 73 00 40 „ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH OBJEKTŮ TECHNICKOU SEISMICITOU A JEJICH ODEZVA“ jsou tyto hodnoty nižší než limity uvedené v tab. 14 této normy. Jsou tedy nižší než minimální hodnoty, při kterých vznikají škody na konstrukcích.

Akustická měření byla v průběhu ražeb provedena čtyřikrát na obytných objektech v katastrálním území Sudoměřice u Tábora a Moraveč u Chotovin. Výsledky měření bohužel ukázaly, že hluk od trhacích prací překračuje limit pro noční dobu (22:00 hod až 6:00 hod), který je stanoven v nařízení vlády č. 272/2011 hodnotou 40 dB. Denní limit 83 dB byl dodržen s dostatečnou rezervou. Zhotovitel byl tedy nucen sladit jednotlivé stavební kroky tak, aby odpaly horniny probíhaly krátce před 22. hodinou a v noční době probíhaly následné práce (odvoz rubaniny, vystrojení výrubu).

4.1.5 Měření tvaru primárního ostění

Po ukončení ražeb kaloty i opěrů bylo provedeno skenování povrchu primárního ostění laserovým skenerem Leica ScanStation P20. Tvar naskenovaného povrchu byl vztažen k nominálnímu profilu, za který byl zvolen rub sekundárního ostění přebraný z realizační dokumentace stavby. Výsledky měření byly presentovány v mapě rozvinutého pohledu ostění tunelu a v příčných řezech zpracovaných v rozteči 1 m. Z obou výstupů jsou patrné konkrétní vzdálenosti (odchyly) mezi tvarem skutečného povrchu primárního ostění a nominálním profilem. Místa, kde povrch primárního ostění nepřipustně zasahoval do profilu sekundárního ostění, byla přebroušena. Naopak místa, kde byl povrch primárního ostění výrazně nad teoretickým rubem sekundárního ostění, byla dostříkána betonem. Proběhla tzv. reprofilace primárního ostění. Příklad výstupu takového příčného řezu je uveden na obr. č. 2.



Obr. 2 Odchyly primárního ostění od teoretického rubu sekundárního ostění v příčném řezu (Ing. Václav Kudláček a Ing. Ivo Kohoušek)

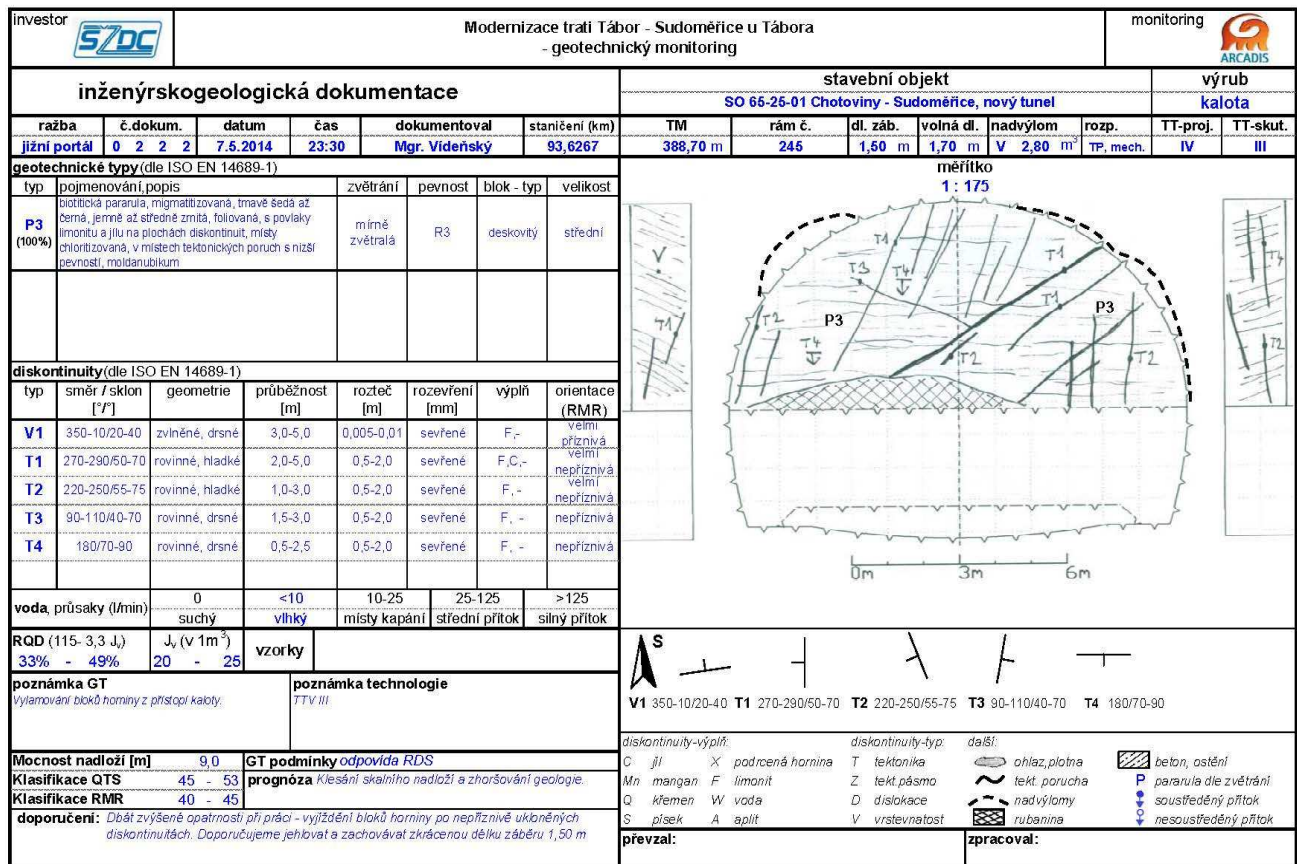
Fig. 2 Deviations of the primary lining from theoretical outer surface of the secondary lining in a cross-section (Ing. Vaclav Kudlacek and Ing. Ivo Kohousek)

4.2 Stavebnětechnický dozor

V rámci technického dohledu nad stavebními pracemi v průběhu ražeb byla prováděna kontrola množství, správného typu a rozmístění jednotlivých vystrojovacích prvků - jehly, ocelové sítě, kotvy, výztužné ocelové rámy a beton. Byl prováděn rovněž dohled při provádění kontrolních a průkazných zkoušek kotev a betonu. Z každého stavebního postupu zpracoval zhotovitel stavebních prací samostatný protokol, tzv. záběrový list výrubu, jehož správnost byla vždy odsouhlasena geotechnickým dozorem a investorem. Počty a typy vystrojovacích prvků uvedené v záběrovém listu byly potom podkladem pro fakturaci zhotovitele.

4.3 Geologická dokumentace

V rámci geologické dokumentace byly zaznamenávány jednak inženýrskogeologické údaje důležité z hlediska geotechnických podmínek ražby a jednak údaje související s technologií a prováděním samotné ražby. Výstupem dokumentace byly grafické geotechnické paspory (M 1:175) s textovým záznamem zjištěných skutečností. Každý stavební postup byl rovněž dokumentován fotograficky. Kvalita horniny byla v každém záběru bodově ohodnocena dle zásad klasifikací RMR a QTS a byla spolu s naměřenými výsledky monitoringu podkladem pro určení způsobu vystrojení TTV. Příklad zpracování geologického pasportu výrubu je zpracován na obrázku č. 3.



Obr. 3 Dokumentace čelby
Fig. 3 Documentation of the excavation

Po délce tunelu byly zastíženy čtyři základní geotechnické typy, jejichž zastoupení po délce tunelu je znázorněno v tabulce 1.

Tabulka 1 Zastížené geotechnické typy
Table 1 Representation of geotechnical types

TM [m]		Délka [m]	body RMR	body QTS	RQD [%]	zastoupení geotech.typů [%]				TT dle NRTM
od	do					P2	P3	P4	P5	
0,00	49,80	50,00	32	38	30	-	0-20	0-80	0-100	Vc
49,80	74,30	24,50	41	50	45	-	40-60	40-60	-	Va
74,30	107,90	33,60	47	55	59	45-85	15-55	-	-	IV
107,90	142,90	35,00	55	63	60	70-90	10-20	0-20	-	III
142,90	192,40	49,50	41	49	58	15-60	20-80	40-80	-	IV
192,40	399,20	206,80	56	61	50	80-100	0-20	-	-	III
399,20	420,00	20,80	36	45	25	-	0-100	0-100	-	IV

Ražby byly zahájeny v prosinci 2013 z jižní strany – fotografie ze zahájení prací viz obrázek č. 4. Hornina byla v jižní části tunelu ve staničení TM 0,0 až TM 79,4 rozpojována pouze

mechanicky za pomoci tunelbageru, od staničení TM 79,4 bylo rozpojováno kombinovaně (trhavinou a strojně).



Obr. 4 Začátek ražeb – jižní portál
Fig. 4 Beginning of the excavation – south portal

4.3.1 Zcela zvětralé biotit-silimanitické ruly (typ P5)

Jednalo se o horniny jemně až středně zrnité, rezavě šedohnědé barvy s povlaky oxidů a hydroxidů železa a jílu na plochách diskontinuit. Rula měla deskovitý tvar bloků - velikost velmi malou až malou. Místy byla hornina charakteru tuhého jílovitého štěrku. Pevnosti jednotlivých fragmentů byly třídy R5 až R6. Tento geotechnický typ se vyskytoval v oblasti jižního portálu v úseku po želvu v TM 0,0 až TM 50,0.

4.3.2 Velmi zvětralé biotit-silimanitické ruly (typ P4)

Tento typ byl jemně až středně zrnitý, světle šedé barvy, s povlaky oxidů a hydroxidů železa a jílu na plochách diskontinuit. Hornina se vyznačovala deskovitým tvarem bloků - velikost bloků velmi malá až malá. Z hlediska pevnosti byla rula zařazena do třídy R4 (místy až R5). Tento geotechnický typ se vykytoval v oblasti oslabených tektonických zón a v místech, kde byly pro ražbu využity TTV IV a V.

4.3.3 Mírně zvětralé biotit-silimanitické ruly (typ P3)

Šlo o středně zrnité horniny, hnědošedé až šedé barvy s povlaky oxidů a hydroxidů železa, manganu nebo aplitu na plochách diskontinuit. Tvar bloků byl kosoúhlý a deskovitý

s velikostí bloků malou až střední. Jednalo se horninu třídy pevnosti R3. Tento geotechnický typ se vykytoval v oblasti diskontinuit a v místech, kde byly pro ražbu využity TTV III a IV.

4.3.4 Slabě zvětralé až zdravé biotit-silimanitické ruly (typ P2)

Horniny byly středně zrnité, světle šedé až šedozelené barvy, foliované, ojediněle s povlaky oxidů a hydroxidů železa na plochách diskontinuit. Horniny byly místy prokřemenělé - těžce šlo rozbít kladivem. Tvar bloků byl kosoúhlý a deskovitý s velikostí bloků střední. Jednalo se horninu třídy pevnosti R2, na vzorcích horniny odebraných z kaloty z TM 264 byla naměřena průměrná pevnost v prostém tlaku kolmo na foliaci 70 MPa. Tento geotechnický typ se vykytoval převážně v úsecích, kde byla pro ražbu využita TTV III. Na obrázku č. 5 je fotografie čelby s geotechnickým typem P2. V příloze je vidět instalace ocelových sítí primárního ostění.



Obr. 5 Stavební práce ve zdravých rulách
Fig. 5 Construction works in sound gneiss

Lze konstatovat, že nezajištěný výrub byl po délce tunelu stabilní. K významnějšímu vypadnutí horniny, či k výraznějším deformacím v průběhu ražby nedošlo, v jednotlivých stavebních postupech byly dokumentovány jednotlivé nadvýruba do 2 m³. Geotechnické podmínky ražby byly v průběhu ražby mírně příznivější, než bylo predikováno v dokumentaci pro zadání stavby, resp. v podrobném geotechnickém průzkumu. Pozitivně se na dobré stabilitě masivu projeví zejména dva faktory - příznivý směr sklonu vrstev horniny a velmi slabé přítoky podzemní vody vlivem suché zimy a jara. V geotechnickém průzkumu byl směr vrstev rul popsán jako proměnlivý - při průzkumu je z vrtného výnosu vlivem pootočení horninového jádra problematické správně stanovit směr diskontinuit. Při ražbě byl však po

celé délce zastiženy konstantní směr vrstev V – Z se sklonem 10° - 30° k severu. Hornina tedy zapadala do čelby, což se příznivě projevilo na dobré stabilitě čelby i přístropí. Porovnání skutečného zatřídění TTV v průběhu ražby a prognózy z dokumentace pro zadání stavby je zpracováno v tabulce 2.

Tabulka 2 TTV skutečně použité a projektované - porovnání
Table 2 Applied excavation support classes and the design-based prognosis – comparison

TECHNOLOGICKÁ TŘÍDA VÝRUBU	DÉLKA DLE DZS [m]	DÉLKA DLE RDS [m]	SKUTEČNÁ DÉLKA [m]
II	0,0	0,0	0,0
III	216,0	216,0	241,8
IV	84,0	84,0	103,9
Va	66,0	70,0	24,5
Vb	27,0	0,0	0,0
Vc	0,0	50,0	49,8
SUMA	393,0	420,0	420,0

5 Závěr

Z naměřených výsledků monitoringu vyplývá, že během ražeb nedošlo k významnějším nárůstům deformací. Po celé délce tunelu se sledované veličiny pohybovaly pod stanovenými varovnými stavy.

Doporučení pro zatřídění do příslušných TTV, která geotechnický dozor dával, byla tedy zpravidla určována na základě zastižené kvality horninového masivu. Masivněji vystrojené TTV Vc a Va byly použity v jižní části tunelu, kde byly zastiženy převážně horninové typy P4 a P5 (ruly silně zvětralé a rozpukané). Typ P4 byl ve větší míře zastižen rovněž v severním příportálovém úseku v cca posledních 20 m ražby, čemuž odpovídalo i nízké bodové ohodnocení RMR a QTS (viz tab. 1). V tomto posledním úseku bylo nutno rozhodnout, zda přejít až do TTV Va (podobně jako v jižní části tunelu), či zda dát přednost zatřídění do TTV IV. Jelikož v této fázi výstavby již bylo známo, že deformační chování horninového masivu v předchozích cca 400 m ražeb bylo příznivé, tak se dala přednost subtilnější variantě TTV IV. Délka postupu však byla z důvodu nižší kvality horninového masivu omezena na 1,3 m, namísto projektem povolených 1,5 m.

Předpoklad zatřídění do TTV prezentovaný v realizační dokumentaci stavby byl mírně pesimističtější než skutečnost – viz tab. 2. Jak bylo již uvedeno výše, hornina byla během stavby relativně stabilní, nedocházelo tedy k vypadávání objemnějších kusů horniny z obnažených částí výrubu. Pozitivně se na dobré stabilitě masivu projeví zejména dva faktory – příznivý směr sklonu vrstev horniny a velmi slabé přítoky podzemní vody vlivem suché zimy a jara. Pokud by ražba probíhala opačným směrem (od severu k jihu) a navíc by období ražeb bylo bohatší na atmosférické srážky, pravděpodobně by docházelo k většímu vypadávání horniny z čelby i přístropí, a tudíž by bylo třeba použít kratší stavební postupy. Rovněž zatřídění do TTV po délce tunelu by při ražbě ze severu zřejmě nebylo tak optimistické. Na tomto příkladu je vidět, že správné stanovení směru ražby v době přípravy podzemního díla může eliminovat případné problémy s nestabilitou horninového masivu a ovlivnit tedy i zastoupení jednotlivých TTV po délce tunelu.

Ražby na tunelu byly úspěšně dokončeny v měsíci červnu roku 2014, fotografie ze slavnostní prorážky kaloty je na obrázku č. 6. Sekundární monolitické ostění bylo dokončeno v prosinci 2014 a v současné době probíhají na tunelu dokončovací práce. V srpnu letošního roku bude tunel předán do zkušebního provozu.



Obr. 6 Prorážka kaloty severního portálu
Fig. 6 Top heading breakthrough of the north portal

6. Seznam použité literatury

- Realizační dokumentace stavby SO 65-25-01 Chotoviny – Sudoměřice, nový tunel, 01 Ražba a primární ostění, SO 65-25-02 Chotoviny – Sudoměřice, jižní portál, 01 Výkop a zajištění stavební jámy říjen 2013, IKP Consulting Engineers, s.r.o.
- Zprávy o výsledcích akustických měření, únor, březen a červen 2014, Pudis, a. s.
- Základní geologická mapa 1:50 000, list 23-13 Tábor (ČGS, 1975)
- ČSN EN ISO 14689-1: Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování hornin – Část 1: Pojmenování a popis
- ČSN EN ISO 14688-1: Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování zemín – Část 1: Pojmenování a popis.
- Modernizace trati Tábor – Sudoměřice u Tábora, geotechnický, hydrogeologický a stavebnětechnický průzkum, SO 65–25–01 Chotoviny – Sudoměřice, nový tunel, únor 2011, Sudop Praha, a. s.
- Dokumentace pro zadání stavby, Modernizace trati Tábor – Sudoměřice u Tábora, SO 65–25–01 Chotoviny – Sudoměřice, nový tunel, Chotoviny – Sudoměřice, nový tunel, SO 65–25–03 Chotoviny – Sudoměřice, severní portál, únor 2011, Sudop Praha, a.s.