

# GEOTECHNICKÝ DOHLED PŘI BUDOVÁNÍ ŽELEZNIČNÍHO SUDOMĚŘICKÉHO TUNELU

AUTOŘI: MILAN KÖSSLER, MARIÁN STEIGER

## Abstrakt

*Ve druhé polovině loňského roku se rozběhly stavební práce na Sudoměřickém tunelu. Ten je stavěn v rámci modernizace IV. tranzitního železničního koridoru v úseku Tábor – Sudoměřice u Tábora. 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 dozor a byla zde rovněž zhotovitelem geotechnického monitoringu. Podzemní dílo bylo zdárně vyraženo v měsíci červnu letošního roku. V současné době v tunelu probíhají navazující práce – instalace drenáží, pokládka hydroizolací a budování sekundárního monolitického ostění. Předpoklad dokončení celého tunelu je v druhé polovině roku 2015, čímž se opět zkrátí o několik minut čas potřebný pro cestování mezi Prahou a Českými Budějovicemi. Železnice se tak stane více konkurenceschopnější vůči dopravě automobilové.*

## 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 celého IV. koridoru dojde ke zkrácení jízdní doby vlaků na celé trase z Českých Budějovic do Prahy z původních 2h 30min na 1h 45min.

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. STAVEBNĚTECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Ražený Sudoměřický tunel byl budován konvenčně tzv. Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) a je konstruován jako dvouplášťový (primární a sekundární ostění) s mezilehlou foliovou hydroizolací. Primární vystrojení je tvořeno ocelovými příhradovými rámy, stříkaným betonem C 20/25 tloušťky od 20 cm do 30 cm (dle 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 pasy 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 pas mají tloušťku definitivního ostění 60 cm.

Ražba tunelu probíhala dovrčně směrem od vjezdového jižního portálu k portálu výjezdovému severnímu. Při ražbě bylo dodržováno vertikální členění – v předstihu ražena kalota (cca 60 m<sup>2</sup>) s následným dotěžením opěří (cca 40 m<sup>2</sup>). TTV III byla využita v nejpříznivějších geologických podmínkách a byla tudíž nejsubtilněji vystrojena a měla nejdelší stavební postup (max. 2,0 m). Naopak třída Va byla aplikována do nejnepříznivějších geologických poměrů a byla tudíž nejmasivněji vystrojena a měla nejkratší stavební postup (max. 1,0 m). Třída Vc byla určena pro úsek dl. 50 m přilehlý jižnímu portálu, který podchází stávající silnici č. I/3.

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.

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 PŘEDMĚTNÉ LOKALITY**

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, Táborská pahorkatina, podcelku Mladovožická pahorkatina, Soběslavská pahorkatina a Okrsku Jankovská pahorkatina, Sezimoústecká 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 dle 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. Vrstevnatost 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 štěrku jílovitého o 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 zastiženy ruly mírně zvětřelé pevnosti 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**

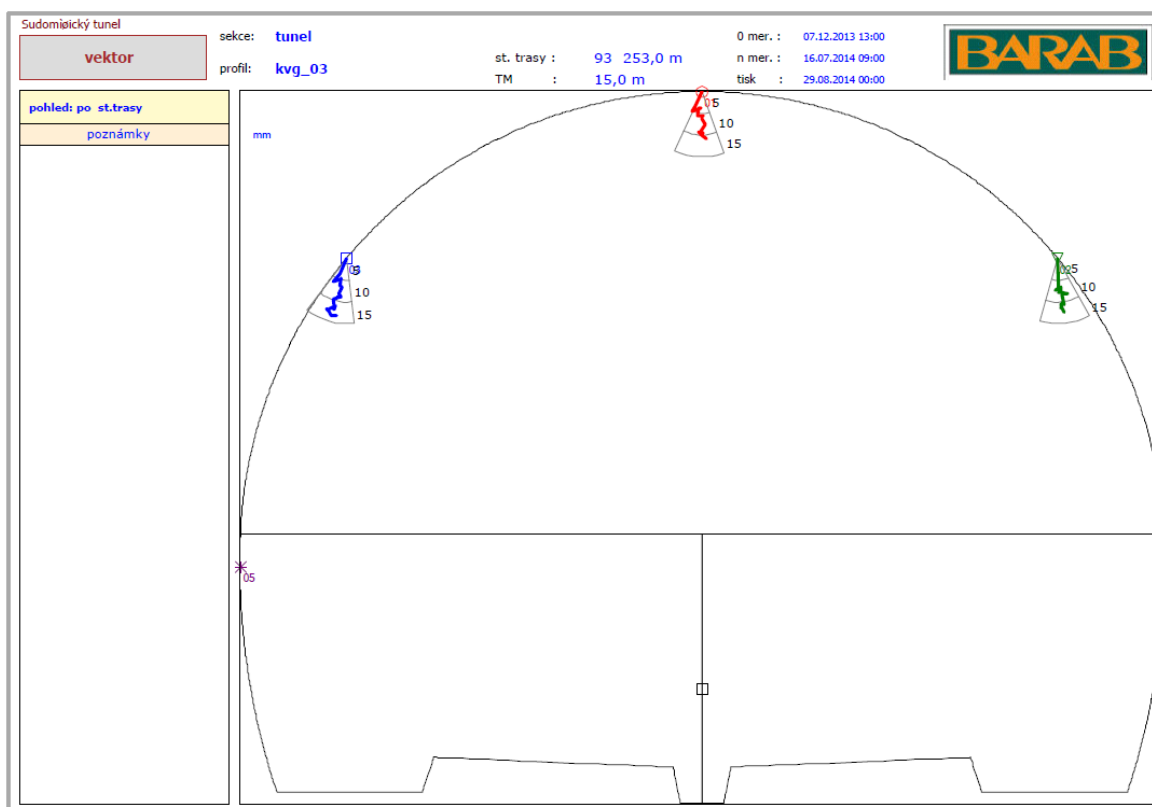
V průběhu stavby byly měřeny, dokumentovány a vyhodnocovány údaje monitorující chování horninového prostředí, budovaných stavebních konstrukcí a také stávající okolní zástavby. Výsledky geomonitoringu byly spolu s geotechnickým sledováním ražeb podkladem pro zařídování do přiměřené TTV. Pro jednotlivá 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.

#### **4.1.2 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 v příloze č. 6.



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

#### 4.1.3 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.

#### 4.1.4 Sledování studen v zóně ovlivnění

Hydrogeologický monitoring probíhal a nadále stále probíhá na 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 měřicím 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. Úbytek vody však nepřisuzujeme vlivu tunelování (tunel byl v průběhu ražeb převážně suchý), nýbrž suchému období, které trvá v podstatě od počátku ražeb.

#### 4.1.5 Seismická a akustická měření

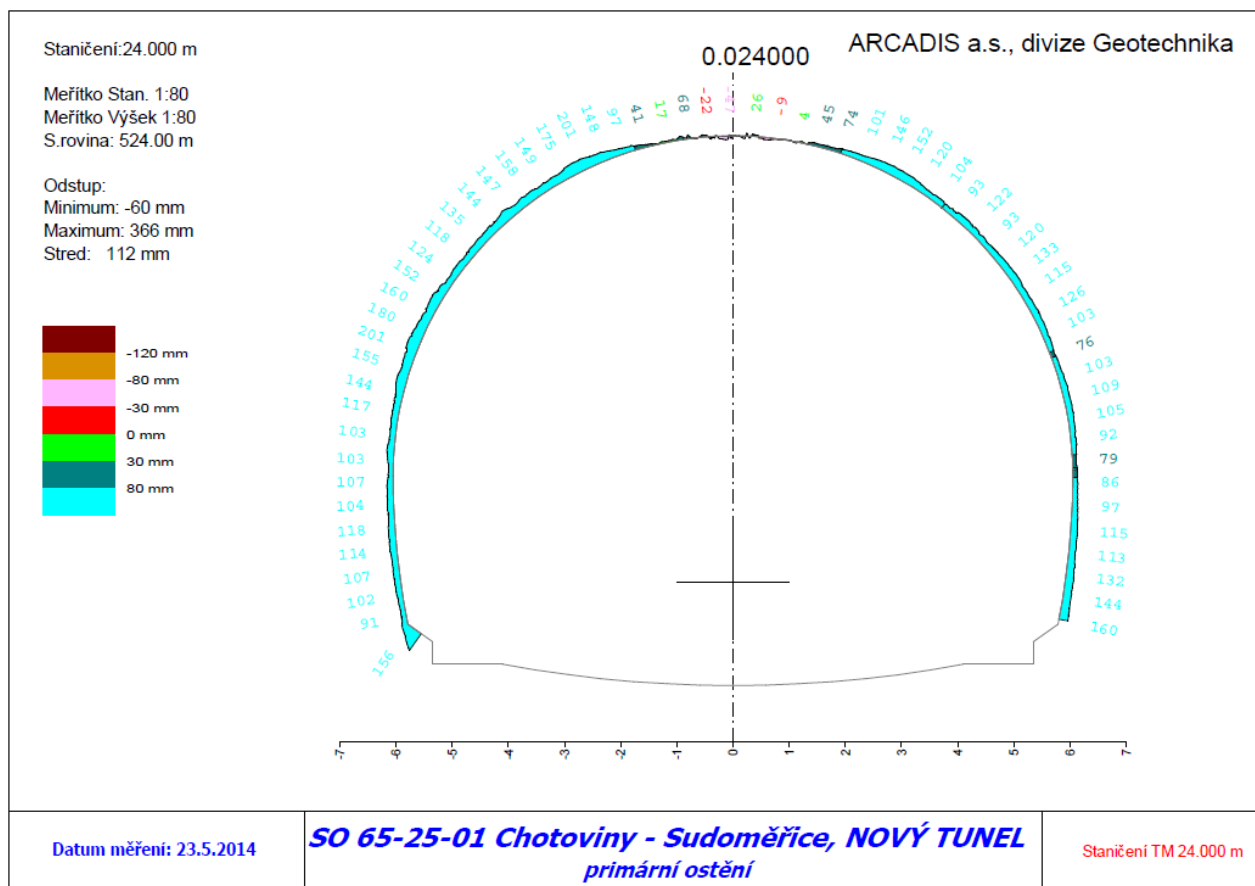
Měření seismických účinků je nedílnou součástí bezpečnostních měření v předpokládaných zónách negativních účinků od trhacích prací. Měření se provádí v souladu s ČSN 73 7501 tak, aby bylo možné optimalizovat technologické postupy výstavby a sledovat účinky trhacích prací a tím chránit zájmy třetích osob. 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. Doposud 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 masivu probíhaly krátce před 22. hodinou a v noční době probíhaly následné práce (odvoz rubaniny, vystrojení výrubu).

#### 4.1.6 Měření tvaru primárního ostění

Po ukončení ražeb kaloty i opěří 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 přebráný z realizační dokumentace stavby. Výsledky měření byly prezentovány v mapě rozvinutého pohledu ostění tunelu a v příčných řezech zpracovaných v rozteči 1 m. Z obou výstupů jsou patrné konkrétní vzdálenosti (odchytky) 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 v příloze č. 2.





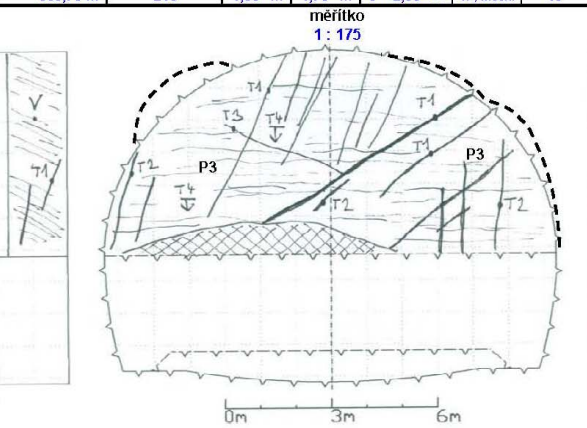

**Příloha č. 2 Průběh odchylek primárního ostění od nominálního profilu (Ing. Václav Kudláček a Ing. Ivo Kohoušek)**

## 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 jsou 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 v příloze č. 3.

investor 		Modernizace trať Tábor - Sudoměřice u Tábora - geotechnický monitoring						monitoring 							
<b>inženýrskogeologická dokumentace</b>						<b>stavební objekt</b>				<b>výrub</b>					
						SO 65-25-01 Chotoviny - Sudoměřice, nový tunel				kalota					
ražba	č.dokum.	datum	čas	dokumentoval	staničení (km)	TM	rám č.	dl. záb.	volná dl.	nadvýlom	rozp.	TT-proj.	TT-skut.		
jižní portál	0 2 2 2	7.5.2014	23:30	Mgr. Videňský	93,6267	388,70 m	245	1,50 m	1,70 m	V 2,80 m	TP, mech.	IV	III		
<b>geotechnické typy</b> (dle ISO EN 14689-1)															
typ	pojmenování, popis		zvětrání	pevnost	blok - typ									velikost	
P3 (100%)	biotická pararula, migmatitizovaná, tmavě šedá až černá, jemně až středně zrnitá, foliovaná, s povlaky limonitu a jilu na plochách diskontinuit, místy chloritizovaná, v místech tektonických poruch s nízkou pevností, molidanubikum		mírně zvětrálá	R3	deskový	střední									
<b>diskontinuity</b> (dle ISO EN 14689-1)															
typ	směr / sklon [°]	geometrie	průběžnost [m]	rozeč [m]	rozevření [mm]									výplň	orientace (RMR)
V1	350-10/20-40	zvlhčené, drsné	3,0-5,0	0,005-0,01	sevěné									F,-	velmi přiznivá
T1	270-290/50-70	rovinné, hladké	2,0-5,0	0,5-2,0	sevěné									F,C,-	velmi nepřiznivá
T2	220-250/55-75	rovinné, hladké	1,0-3,0	0,5-2,0	sevěné									F,-	velmi nepřiznivá
T3	90-110/40-70	rovinné, drsné	1,5-3,0	0,5-2,0	sevěné	F,-	nepřiznivá								
T4	180/70-90	rovinné, drsné	0,5-2,5	0,5-2,0	sevěné	F,-	nepřiznivá								
voda, průsaky (l/min)			0	<10	10-25	25-125	>125								
RQD (115- 3,3 J <sub>v</sub> )			33% - 49%	J <sub>v</sub> (v 1m <sup>3</sup> )	20	vzorky									
poznámka GT			poznámka technologie												
Vytarování bloků horniny z přístupu kaloty.			TTV III												
Mocnost nadloží [m]		9,0		GT podmínky odpovídá RDS											
Klasifikace QTS		45 - 53		prognóza Klesání skalního nadloží a zhoršování geologie.											
Klasifikace RMR		40 - 45													
doporučení: Dbát zvýšené opatrnosti při práci - vyjždění bloků horniny po nepřiznivě ukloněných diskontinuitách. Doporučujeme jehlovat a zachovávat zkrácenou délku záběru 1,50 m															
diskontinuity-výplň:						diskontinuity-ty. daří:									
C jíl X podrcená hornina T tektonika ohlaz, plotna beton, ostění						Mn mangan F limonit Z tekt.pásmo tekt. porucha P pararula dle zvětrání									
Q křemen W voda D dislokace nadvýlom rubanina sousředený přítok						S písek A aplit V vrstevnatost nesousředený přítok									
převzal:						zpracoval:									

### Příloha č. 3 Dokumentace čelby

Po délce tunelu byly zašity čtyři základní geotechnické typy, jejichž zastoupení po délce tunelu je znázorněno v příloze č. 4.



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

**Příloha č. 4 Zastižené geotechnické typy**

Ražby byly zahájeny v prosinci 2013 z jižní strany – fotografie ze zahájení prací viz příloha č. 5. Hornina byla v jižní části tunelu ve staničení TM 0,0 až TM 79,4 rozpojována pouze mechanicky za pomoci tunelbagru, od staničení TM 79,4 bylo rozpojováno kombinovaně (trhavinou a strojně).



**Příloha č. 5 Začátek ražeb – jižní portál**

#### 4.3.2 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.

#### 4.3.3 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 (místa až R5). Tento geotechnický typ se vykytoval v oblasti oslabených tektonických zón a v místech, kde byly pro ražbu využity TTV IV a V.

#### 4.3.4 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.

#### 4.3.5 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. V příloze č. 6 je fotografie čelby s geotechnickým typem P2. V příloze je vidět instalace ocelových sítí primárního ostění.



**Příloha č. 6 Stavební práce ve zdravých rulách**

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 nadvýrby do 2 m<sup>3</sup>. 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 zastížen 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 příloze č. 7.

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

**Příloha č. 7 TTV skutečně použité a projektované – porovnání**

## 5 ZÁVĚR

Díky relativně malým deformacím, které se v průběhu ražeb pohybovaly pod stanovenými varovnými stavy a rovněž díky relativně příznivé geologii horninového masivu bylo zatřídění do TTV po délce tunelu příznivé. Jak je vidět z tabulky v příloze č. 7, tak bylo pro vystrojení primárním ostěním využito více subtilněji vystrojených TTV na úkor masivněji vystrojených TTV, což s sebou samozřejmě přineslo i úsporu stavebního materiálu.

Jak jsme již uvedli výše, k dobrému stabilitnímu a deformačnímu chování horniny přispěl příznivý směr a sklon vrstevnatosti a také velmi slabé přítoky podzemní vody během ražby. Pokud by ražba probíhala opačným směrem, tedy od severu k jihu, pak by byl sklon vrstevnatosti horninového masivu pro stabilitu nezajištěné čelby a přístropí velmi nepříznivý. Pokud by navíc období ražeb bylo bohaté na srážky a v podzemí by se tedy objevilo více vody, pak by se zhotovitel pravděpodobně potýkal s větší nestabilitou obnažené čelby a přístropí. Hornina by měla tendenci při ražbě vyjíždět po mokřích plochách vrstevnatosti, stavební postupy by byly kratší a rovněž primární ostění by bylo masivnější. Na tomto příkladu jde vidět, že stanovení správného směru ražby v období přípravy, hraje důležitou roli a má dopad i ekonomiky díla.

Ražby na tunelu byly úspěšně dokončeny v měsíci červnu letošního roku, fotografie ze slavnostní prorážky kaloty je v příloze, č. 8.



**Příloha č. 8 Severní portál - prorážka**

Ing. Milan Kössler, ARCADIS CZ, a.s., Geologická 4, Praha 5, tel.: 724 218 670,  
email: milan.kossler@arcadis.cz

Mgr. Marián Steiger, ARCADIS CZ, a.s., Geologická 4, Praha 5, tel.: 724 371 079,  
email: marian.steiger@arcadis.cz

#### Použitá literatura:

1. 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.
2. Zprávy o výsledcích akustických měření, únor, březen a červen 2014, Pudis, a.s.
3. Základní geologická mapa 1:50 000, list 23-13 Tábor (ČGS, 1975)
4. ČSN EN ISO 14689-1: Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování hornin – Část 1: Pojmenování a popis
5. ČSN EN ISO 14688-1: Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis.
6. 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.
7. 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.