

# RAŽENÉ ÚSEKY TUNELU POVÁŽSKÝ CHLMEC – PŘEDPOKLADY A SKUTEČNOST

M. Hilar

*3G Consulting Engineers s.r.o. a FSv ČVUT v Praze, Česká republika*

M. Srb & J. Zmítko

*3G Consulting Engineers s.r.o., Česká republika*

V. Pastrňák & V. Petráš

*Hochtief CZ a.s., Česká republika*

**ABSTRAKT:** Příspěvek je zaměřený na přípravu soutěžní nabídky a na výstavbu tunelu Povážský Chlmec, který se nachází na úseku Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) na dálnici D3. Tunel má dvě dvoupruhové tunelové trouby délky cca 2 x 2,2 km, většina tunelu je ražena pomocí NRTM s horizontálním členěním na kalotu a lavici.

Stavba byla zahájena v květnu 2014 a plánovaný termín uvedení do provozu je v červnu 2017. Vzhledem k velmi napjatému harmonogramu výstavby byla umožněna ražba až z osmi čeleb najednou (kromě ražeb z portálů jsou umožněny i ražby ze střední stavební jámy), nakonec bylo raženo maximálně z 6 čeleb najednou. V současné době (konec ledna 2016) již byly dokončeny všechny ražby mezi střední jámou a západním portálem. Byla již také dokončena ražba kaloty mezi střední jámou a východním portálem. Zbývá ještě dorazit cca 380 m kaloty severní tunelové trouby.

Tunel byl soutěžen a zadán pomocí žluté knihy FIDIC, tudíž detailní technická řešení jsou v kompetenci zhotovitele. Proto zhotovitelská firma Hochtief CZ využila firmy 3G Consulting Engineers a IKP pro přípravu soutěžní nabídky a asistenci během vlastní výstavby tunelu. Příspěvek je zaměřen na interpretaci výsledků inženýrsko-geologického průzkumu a na optimalizaci technologických tříd výrubu před podáním soutěžní nabídky. Následně je popsána optimalizace NRTM ražeb během výstavby tunelu.

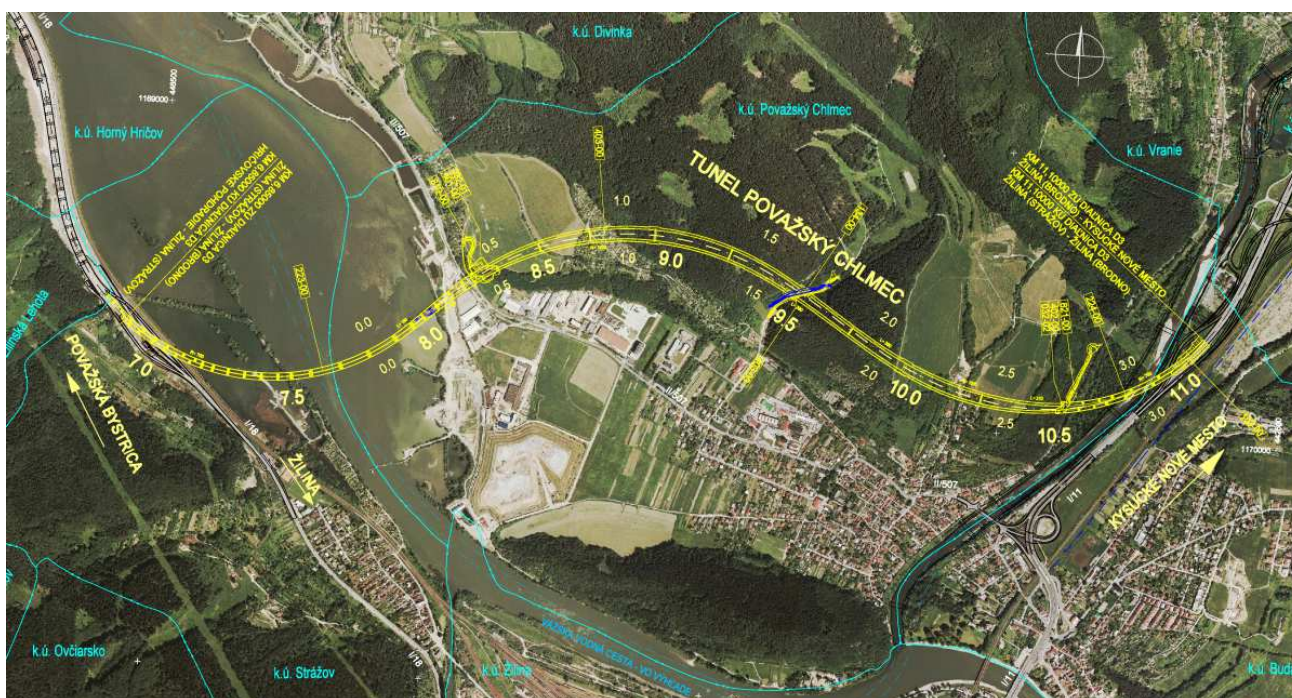
## 1. ZÁKLADNÍ PARAMETRY TUNELU

Tunel Povážský Chlmec se nachází na úseku slovenské dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno). Trasa tohoto úseku dálnice (obr.1) celkové délky 4 250 m překonává mostní estakádou délky cca 1500 m vodní nádrž Hričov na řece Váh (obr.2). Následně přechází na západním portále do tunelu Povážský Chlmec. Nejprve pokračuje přibližně východním směrem v oblouku, aby se stočila k jihovýchodu a protisměrným obloukem se vrátila zpět do přibližně východního směru. Po cca 2,2 km v tunelu dálnice vyústuje na východním portálu situovaném na pravém erozním svahu řeky Kysuce, odkud pokračuje mostem délky cca 400 m přes řeku Kysucu.

Tunel Povážský Chlmec byl navržen se dvěma protisměrnými tubusy, v každém tubusu budou dva jízdní pruhy. Tunel je ražen pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM) s horizontálním členěním čelby. Stavba byla zahájena v květnu 2014 a plánovaný termín uvedení do provozu je v červnu 2017. Vzhledem k velmi napjatému harmonogramu výstavby je umožněna ražba až z osmi čeleb najednou (kromě ražeb z portálů jsou umožněny i ražby ze střední stavební jámy). Hloubené úseky jsou v oblasti portálů a ve střední jámě. Jižní tunelová trouba (JTT) má délku 2186,5 m, z toho je raženo 2120,5 m. Severní tunelová trouba (STT) má délku 2249 m, z toho je raženo 2200 m. Plocha výrubu se pohybuje od 83,1 m<sup>2</sup> (nejlehčí vystrojovací třída 4.1 s patkami) do 105,2 m<sup>2</sup> (nejtěžší vystrojovací třída 6.3 s uzavřenou spodní klenbou).

Maximální výška nadloží dosahuje cca 125 m. Oblast na povrchu území ovlivněná ražbou je tvořena loukami, lesy, chatovou kolonií, lesními cestami a přítomností vodovodního přivaděče. Tunely jsou vedeny v nadmořské výšce cca 341 až 352 m (niveleta tunelu). Hloubené úseky byly částečně realizovány pomocí tzv. metody želva (ražba tunelu pod zastropením z monolitického železobetonu) [1]. Daná konstrukce byla použita na západním portále v délce 37,5 m na JTT a 50,0 m na STT. Dále

byla metoda želva použita i ve střední stavební jámě na STT směrem k východnímu portálu v délce 34,5 m.



Obrázek 1: Situace trasy nového úseku dálnice D3 s tunelem Povážský Chlmec



Obrázek 2: Výstavba mostní estakády přes vodní nádrž Hričov na řece Váh

Investorem nového úseku dálnice je Národní diaľničná spoločnosť (NDS), v soutěži na zhotovitele uspělo Združenie D3 Žilina (Strážov) - Žilina (Brodno), jehož členy jsou firmy Eurovia SK, Hochtief CZ a Stavby mostov Slovakia. Zhotovitelem tunelu je firma Hochtief CZ, která nyní provádí ražby ze čtyř čeleb ze střední stavební jámy. Ražby ze dvou čeleb od západního portálu provádí firma TuCon, která je subdodavatelem Hochtiefu CZ. Realizační dokumentace byla zpracována firmami IKP a Hochtief CZ. Funkci geotechnického dozoru na stavbě provádí firma 3G Consulting Engineers, která společně se zástupci firmy Hochtief CZ navrhuje zařídování do technologických tříd výrubu. Geotechnický monitoring a geologické mapování čeleb má na starosti firma Arcadis. Geodetické práce (vytyčování tunelu, měření deformací ostění a nadvylomů, atd.) provádí firma Angermeier Engineers. Stavební dozor pro NDS provádí sdružení firem EU TECH&ESP&MULLER&API-D3.

## 2. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Zájmové území náleží pieninskému bradlovému pásmu, které je na severu omezeno bystrickou jednotkou magurského flyše, na jihu klapskou jednotkou, na jihovýchodě manínskou jednotkou a súlovským pískovcovo-slepencovým pásmem. Pieninská skupina je v trase tunelu Povážský Chlmec zastoupena výhradně kysuckou skupinou náležící střední a vrchní křídě. Kysucká skupina je tvořena šupinami, které jsou převrácené a ukloněné (více než 30°) k S a SZ. Severní i jižní část tunelů je



budována snežnickým souvrstvím, které je zastoupené flyšem vápničných jílovců a pískovců. V jejich nadloží se nacházejí polohy tvořené exotickým slepencovým flyšem, jižní hranice je lemována pestrými slíny. Kontakty mezi kysuckou a bystrckou skupinou na severu a klapskou skupinou na jihu jsou tektonické, ukloněné k severu. Jižní kontakt probíhá v údolí Váhu jižně od koridoru tunelu. Tektonický vývoj je charakteristický v podélném směru bradlového pásma, tj. SV – JZ směru. Vrstvy bradlového pásma jsou porušeny též příčným systémem ve směru S – J až SZ – JV, na kterých převládá vertikální posun.

Snežnické souvrství je tvořeno jílovcí, slínovci a vrstvami pískovců tloušťky 10 až 60 cm seskupených do cyklů o 3 až 9 vrstvách, které se směrem do exotických slepenců ztenčují. Tato litologická formace byla zastižena v oblasti západního portálu do staničení tunelu zhruba TM 480, odkud přechází do exotických slepenců.

Exotické slepence lze charakterizovat jako polymiktní konglomeráty s jílovito-slinitým a vápničitým tmelem (obr.3). Charakter a pevnost tmele výrazně ovlivňuje geotechnické vlastnosti slepenců. Většina ražeb ze střední jámy směrem na západ proběhla v exotických slepencích vysoké pevnosti, tudíž bylo možné postupovat v dlouhých záběrech.



Obrázek 3: Čelba tunelu s exotickými slepenci s jílovito-písčitým tmelem

Kvartérním pokryvným útvarům v trase tunelu Povážský Chlmec dominuje deluviální komplex zahrnující deluviální jíly a sutě. Především v oblasti západního a východního portálu tvoří souvislý pokryv. Ve svahu a úpatí západního portálu pak překrývá terasové a fluviální sedimenty. Deluviální jíly jsou převážně tuhé konzistence, charakteristické nízkou až střední plasticitou a často s příměsí písků a úlomků.

Hydrogeologické poměry v trase tunelu jsou podmíněny geologickou stavbou, tektonickým porušením, geomorfologickými a klimatickými podmínkami. Flyšová litologická formace zastoupená jílovcí, pískovci a slínovci tvoří jako celek málo zvodněné a málo propustné prostředí. Proudění podzemní vody je značně omezené vzhledem k flyšovému charakteru. Globálně převládá puklinová propustnost, hydrogeologické poměry jsou tak předurčené především tektonickým porušením než litologickým charakterem. Větší akumulace vody jsou vázány spíše na kvartérní útvary a zvětrané polohy. Formace exotických slepenců, bez ohledu na typ výplňového tmelu, je charakteristická nízkou puklinovou propustností. Oběh vody je vázaný především na tektonické poruchy, které vytváří vhodné prostředí pro oběh a akumulaci vod, a přípovrchové rozvolněné pásmo.



Pro nabídku byly firmou 3G Consulting Engineers doporučeny následující změny korespondující s Tab. 1 a 2 [5]:

Jižní tunelová trouba (JTT):

- 1631 m (79%) bez spodní klenby (původně v DSP předpokládáno 47%)
- 438 m (21%) se spodní klenbou (původně v DSP předpokládáno 53%)

Severní tunelová trouba (STT):

- 1735 m (82%) bez spodní klenby (původně v DSP předpokládáno 43%)
- 475 m (18%) se spodní klenbou (původně v DSP předpokládáno 57%)

Daný předpoklad byl podrobně diskutován při jednáních v německé centrále firmy Hochtief. Německým odborníkům se uvedený předpoklad jevil jako značně optimistický a riskantní, proto byl při přípravě nabídky použit konzervativnější předpoklad (s větším rozsahem použití spodní klenby). Dosavadní zkušenosti z ražby však ukazují, že spodní klenbu nebude pravděpodobně nutné na tunelu Povážský Chlmec využít vůbec, tudíž skutečně zastižené geologické podmínky jsou ještě lepší, než bylo při podání nabídky předpokládáno.

#### **4. PRŮBĚH REALIZACE**

Stavba byla zahájena v květnu 2014. Po vyhloubení a zajištění střední stavební jámy a západního portálu včetně konstrukcí železobetonových želv mohly být zahájeny ražby. Dosavadní harmonogram ražeb byl následující:

**Ražby ze střední jámy:**

- JTT na západ zahájeno 16.2.2015, doraženo v kalotě 20.8.2015, vyraženo 567 m (včetně jednoho nouzového zálivu) – průměrný výkon cca 95 m za měsíc
- STT na západ zahájeno 7.4.2015, doraženo v kalotě 26.9.2015, vyraženo 566 m (včetně jednoho nouzového zálivu) – průměrný výkon cca 99 m za měsíc
- JTT na východ zahájeno 12.3.2015, doraženo v kalotě 6.1.2016, vyraženo 719 m (včetně jednoho nouzového zálivu) – průměrný výkon cca 80 m za měsíc
- STT na východ zahájeno 27.4.2015, ražba v kalotě pokračuje, k 31.1.2016 vyraženo v kalotě 691 m (včetně jednoho nouzového zálivu) – průměrný výkon cca 77 m za měsíc

**Ražby ze západního portálu:**

- JTT zahájeno 21.3.2015, doraženo v kalotě 18.8.2015, vyraženo 515 m – průměrný výkon cca 103 m za měsíc
- STT zahájeno 29.3.2015, doraženo v kalotě 3.9.2015, vyraženo 590 m – průměrný výkon cca 118 m za měsíc

**Ražby z východního portálu:**

- JTT zahájeno 17.10.2015, doraženo v kalotě 15.1.2016, vyraženo 303 m – průměrný výkon cca 101 m za měsíc

V současné době (konec ledna 2016) již byly dokončeny všechny ražby mezi střední jámou a západním portálem. Byla již také dokončena ražba kaloty mezi střední jámou a východním portálem, na daném úseku nyní probíhá ražba posledních cca 100 m lavice. Dále je ještě třeba dorazit v STT cca 380 m kaloty a 700 m lavice mezi střední jámou a východním portálem (ražba STT z východního portálu dosud nebyla zahájena). Výše uvedené výkony ražeb jsou ovlivněny dostupným množstvím pracovníků a mechanizace, při ražbách ze střední jámy bylo zpravidla raženo pouze na třech čelbách a jedna čelba stála, ze střední jámy byly také vyraženy všechny 4 nouzové zálivy (obr.4).

Výsledný návrh technologických tříd výrubu se během ražeb ukázal jako výhodný, protože umožnil dostatečně operativní a variabilní přístup a reakci na zastižené geotechnické podmínky. Velká část ražeb dosud proběhla v prostředí exotických slepenců, které jsou velmi stabilní, tudíž je možné razit kaloty v nejlehčí technologické třídě 4.1 s délkou záběru až 3,5 m. V dané technologické třídě je používána jedna vrstva sítí bez rámu, 10 cm stříkaného betonu a 5/6 svorníků HUS délky 3m.

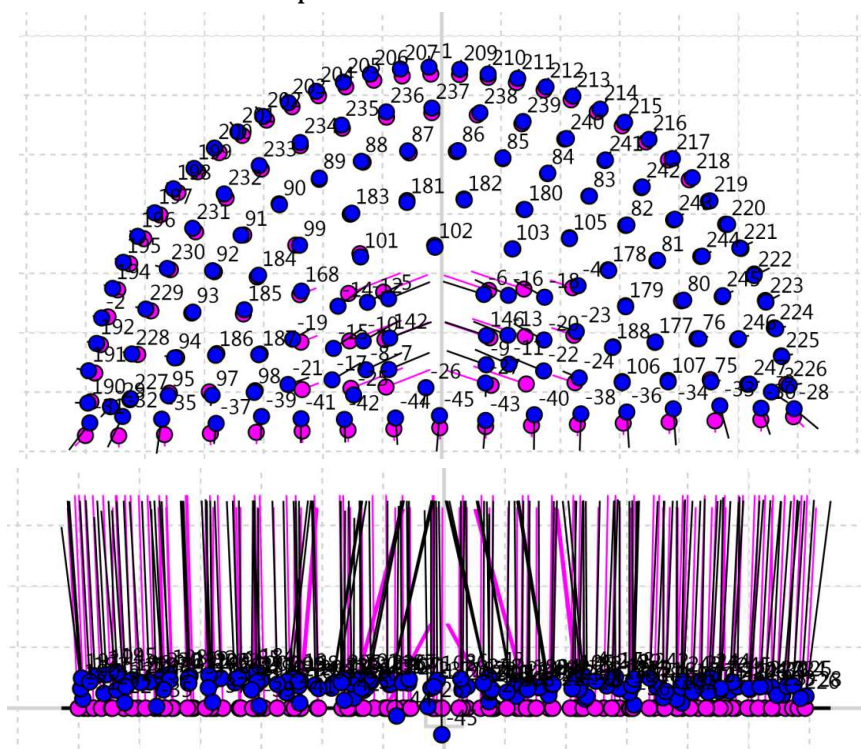




Obrázek 4: Primární ostění nouzového zálivu s propojkou v JTT

Při uvedených délkách záběrů bez ráků je velmi důležitá přesnost vrtání čelby pro trhaviny a minimalizace nadvýlomů. Firma Hochtief CZ využívá vrtné vozy Atlas Copco s poloautomatickým nastavením vrtání dle předem připravených vrtných schémat. Software využívaný pro vrtání čelby umožňuje porovnání způsobu navrtání čelby s teoretickým vrtným schématem (obr.5). Výrub každého záběru je geodeticky zaměřován, geodetické zaměření lze pak následně porovnat se záznamem vrtání. Daným postupem je možné ověřit, nakolik jsou důvody nadvýlomů geologické či technologické.

Úpravy geometrie vrtání, zejména pak obrysových vrtů byly prováděny v několika krocích v závislosti jak na velikosti technologického nadvýlomu, tak na nutnosti následné úpravy profilu tunelbagrem. Při délce návrtů 3,5 m, bylo nutné snížení vyklonění na co největší míru. Výsledkem bylo vyklonění vrtu 15 cm na 3,5 m délky, což znamená úhel cca. 2,45°. Toto byly hraniční parametry, za kterých bylo možno ještě „nasadit lafetu“ pod klenbu tunelu tak, aby následný výlom byl nad profilem a nebylo nutné zdlouhavé doprofilování v extrémně pevné hornině. Současně na konci takto vytvořeného vějíře nedocházelo k vytvoření extrémního nadprofilu.

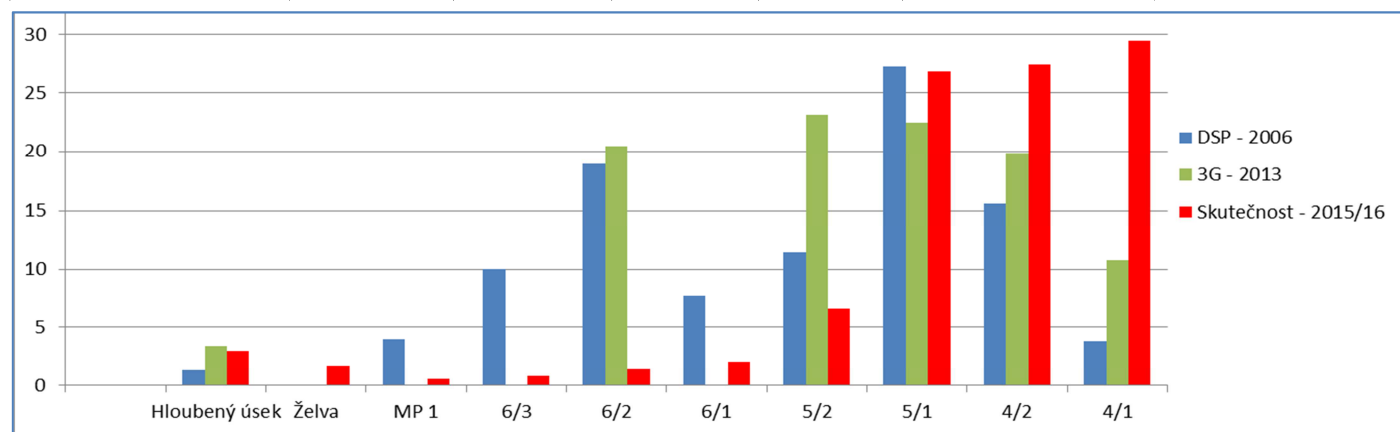


Obrázek 5: Porovnání teoretického vrtného schématu (fialově) se záznamem vrtání (modře)  
– svislý a vodorovný pohled

Vzhledem k rozsahu provedených ražeb je již možné porovnat předpoklady využití technologických tříd se skutečností. JTT je již vyražena, proto je již známé skutečné rozdělení použitých technologických tříd v dané troubě, rozdělení v STT bude obdobné. Porovnání předpokladů a skutečnosti v JTT je provedeno v tab. 3 a na obr. 6.

Tabulka 3 Porovnání předpokládaného a realizovaného rozdělení technologických tříd v kalotě JTT

	DSP - 2006 (m)	DSP - 2006 (%)	3G - 2013 (m)	3G - 2013 (%)	Skutečnost 2015/16 (m)	Skutečnost 2015/16 (%)
<b>Hloubený úsek</b>	27,0	1,3	73,0	3,4	66,0	3,0
Želva	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	1,7
<b>MP 1 (s protiklenbou)</b>	83,0	4,0	0,0	0,0	12,1	0,6
6/3 (s protiklenbou)	210,0	10,0	0,0	0,0	17,1	0,8
<b>6/2 (s protiklenbou)</b>	396,9	18,9	438,0	20,4	31,2	1,4
6/1 (s protiklenbou)	162,0	7,7	0,0	0,0	44,7	2,0
<b>5/2 (v DSP s protiklenbou, následně bez ní)</b>	240,0	11,4	495,0	23,1	143,1	6,6
5/1 (bez protiklenby)	573,1	27,3	481,0	22,5	586,7	26,9
4/2 (bez protiklenby)	327,4	15,6	425,0	19,8	599,9	27,5
4/1 (bez protiklenby)	80,0	3,8	230,0	10,7	644,0	29,5
<b>CELKEM</b>	<b>2 099,3</b>	<b>100,0</b>	<b>2 142,0</b>	<b>100,0</b>	<b>2 182,3</b>	<b>100,0</b>
<b>Se spodní klenbou</b>	<b>1 092</b>	<b>53</b>	<b>438</b>	<b>21</b>	<b>143</b>	<b>7</b>
<b>Bez spodní klenby</b>	<b>1 007</b>	<b>47</b>	<b>1 704</b>	<b>79</b>	<b>2 040</b>	<b>93</b>



Obrázek 6: Porovnání předpokládaného a realizovaného rozdělení technologických tříd v kalotě JTT (uvedeno v %)

Z tab.3 a obr.6 je patrné, že rozdělení technologických tříd předpokládané v zadávací dokumentaci (DSP) bylo relativně konzervativní. V zadávací dokumentaci bylo předpokládáno využití spodní klenby na 53% JTT, ve skutečnosti bylo ve třídách se spodní klenbou vyraženo pouze 7%. Nicméně i u těch 7% nebyla spodní klenba provedena, protože spodní část profilu tunelu již byla v dostatečně pevné hornině a konvergence se ustálily bez nutnosti uzavření spodní klenby. Vyhodnocení provedené firmou 3G před zahájením ražeb s předpokladem 21% JTT se spodní klenbou je výrazně blíže skutečnosti než byla zadávací dokumentace, nicméně i tak se daný předpoklad ukázal jako konzervativní.

Firma 3G Consulting Engineers provádí pro zhotovitelkou firmu Hochtief CZ technickou pomoc během výstavby tunelu (tzv. geotechnickou supervizi ražeb) zahrnující především následující činnosti:

- Denní přítomnost na stavbě po dobu provádění ražeb tunelů
- Optimalizace provádění tunelů včetně zajištění přiměřené bezpečnosti
- Technická a administrativní podpora zhotovitele při přípravě a realizaci tunelu
- Asistence zhotovitele s řešením neočekávaných událostí spojených s ražbami
- Účast na jednáních a příprava podkladů pro jednání
- Spolupráce s projektantem, připomínkování technických řešení Kontrola provádění ražeb zhotovitelem a podzhotoviteli
- Geotechnická podpora zhotovitele při provádění ražeb a hloubení portálů
- Posouzení efektivity a bezpečnosti ražeb
- Tvorba a provoz software pro záznamy ražeb, průběžné vyhodnocování údajů důležitých pro optimalizaci rychlosti a ceny ražeb.



Obrázek 7: Práce na definitivním ostění

## 5. ZÁVĚR

Většina ražeb tunelu Povážský Chlmec již byla dokončena a koncem roku 2015 byly zahájeny práce na definitivním ostění (obr.7). Dosavadní zkušenosti (leden 2016) ukazují, že při projektově orientovaném přístupu k přípravě nabídek a k provádění realizací tunelových projektů je pro uchazeče/zhotovitele přínosná spolupráce s externími subjekty a jejich odborníky. Jedná se o způsob standardně používaný v mnoha tunelářsky vyspělých evropských státech.

Především při smluvním nastavení vycházejícím z principů žluté knihy FIDIC, tj. princip Design and Build (DB, naprojektuj a postav) je efektivita provádění ražeb podstatná pro ekonomický výsledek. Umožnění provádění nákladově výhodnějších způsobů ražby („optimalizace“ délky záběru a způsobu jeho zajištění) může vést ke zvýšení rizika (nadvýlomy, závaly). To by mělo být kompenzováno účastí externích geotechnických odborníků, kteří nejsou přímo hmotně zainteresováni na rychlosti a ceně ražeb. Proto mohou objektivněji než samotný zhotovitel posoudit skutečné možnosti optimalizace a míru přijatelného rizika.

Tento přístup se zřetelně projevil během dosavadních ražeb tunelu, kdy optimalizace vstrojení byla prováděna striktně dle chování otevřeného výrubu, deformací a s ohledem na zajištění bezpečnosti. Dosavadní praxe v ČR se prakticky vždy při zhoršení situace na čelbě uchylovala k přechodu do těžší třídy se všemi s tím souvisejícími negativními technickými a ekonomickými dopady. Ze stávajících ražeb je evidentní, že mnohdy stačí pouhé zkrácení záběru při zachování nižší technologické třídy a lehkého vstrojení. V mnohých případech se ukázala jako velmi přínosná nepovinná opatření umožněná v nižších technologických třídách (např. jehlování či částečný zástřík čelby), která byla prováděna pouze v případě potřeby. Tyto skutečnosti nejsou nějakým zásadním objevem a novinkou, nicméně s konzervativním přístupem v jiných případech už byly prakticky zapomenuty. A nejedná se o nic jiného, než o principy, na nichž je založena NRTM.

Činnost zástupců zadavatele (technický dozor investora), vykonávajících dozor provádění, pak v případě zadání na principech DB nemusí být kapacitně příliš rozsáhlá. Měla by spočívat v kontrole dodržování smluvních, zákonných a předpisových podmínek a neměla by příliš zasahovat do rozhodování o technických detailech provádění ražeb. V případě provádění ražeb tunelu Povážský Chlmec se po počátečním upřesňování úloh jednotlivých subjektů působících na projektu (zhotovitel stavby, externí odborníci zhotovitele, geotechnický monitoring, dozor investora) podařilo zavést



system umožňující plně využívat principů NRTM (flexibilita a optimalizace) a zároveň zachovat přijatelnou úroveň bezpečnosti a umožnit zadavateli kontrolu provádění.

Z několika tunelových projektů probíhajících v současnosti v okolí Žiliny na dálnicích D1 a D3 je provádění tunelu Povážský Chlmec provázeno nejmenšími problémy a probíhá zcela dle původního harmonogramu, který byl od počátku velmi napjatý. Nakolik je to zásluhou „vyšší moci“ v podobě příznivé geologie a nakolik k tomu přispěla i pečlivá příprava, interpretace existujících podkladů, prováděcí projektová dokumentace a organizace provádění za účasti externích odborníků, je otázka vyžadující objektivní analýzu po skončení všech těchto projektů.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TE01020168.

## **LITERATURA**

- [1] Mařík L. (2015): Tunel Povážský Chlmec na dálnici D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) od projektu k realizaci. Tunel 3/2015, CzTA, Praha.
- [2] Petko, A., Pastrňák, V. (2015): Technológia, postup a špecifiká razenia tunela Povážský Chlmec. Tunel 3/2015, CzTA, Praha.
- [3] NDS (2013): Diaľnica D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), súťažné podklady, Národná diaľničná spoločnosť, a.s.
- [4] IKP (2015): Diaľnica D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), realizační dokumentace stavby objektu SO410-00, IKP Consulting Engineers s.r.o.
- [5] 3G (2013): Tunel Povážský Chlmec. Technická pomoc při přípravě nabídky. 3G Consulting Engineers s.r.o.

**Titul, jméno, příjmení autora:** doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

**Pracoviště:** 3G Consulting Engineers s.r.o. a FSv ČVUT v Praze, Česká republika

**E-mail adresa:** hilar@3-g.cz

**Titul, jméno, příjmení autora:** Ing. Martin Srb

**Pracoviště:** 3G Consulting Engineers s.r.o., Česká republika

**E-mail adresa:** srb@3-g.cz

**Titul, jméno, příjmení autora:** Mgr. Jiří Zmítka

**Pracoviště:** 3G Consulting Engineers s.r.o., Česká republika

**E-mail adresa:** zmitko@3-g.cz

**Titul, jméno, příjmení autora:** Ing. Vít Pastrňák

**Pracoviště:** Hochtief CZ a.s., Česká republika

**E-mail adresa:** vit.pastrnak@hochtief.cz

**Titul, jméno, příjmení autora:** Ing. Viktor Petráš

**Pracoviště:** Hochtief CZ a.s., Česká republika

**E-mail adresa:** viktor.petras@hochtief.sk