

OPTIMALIZACE RAŽEB TUNELU POVÁŽSKÝ CHLMEC NA D3

OPTIMALISATION OF EXCAVATIONS FOR THE POVÁŽSKÝ CHLMEC TUNNEL ON D3

Matouš Hilar¹

Martin Srb²

Jiří Zmítko³

Vít Pastrňák⁴

Viktor Petrás⁵

ABSTRAKT

Následující 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. 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, který je v době přípravy příspěvku ražen ze šesti čeleb.

ABSTRACT

This paper is focused on the bid preparation and the construction of the Povážský Chlmec tunnel situated on the section Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) of the highway D3. The tunnel has two double-lane tubes of length 2 x 2,2 km, the tunnel majority is excavated using NATM with the tunnel face sequencing of top heading and bench. The tunnel was tendered using yellow FIDIC book, therefore contractor is responsible for detail technical solutions. Thus contractor Hochtief CZ utilised companies 3G Consulting Engineers a IKP for assistance with the bid preparation and during tunnel construction. The paper is focused on interpretation of site investigation and optimisation of excavation and support classes prior bid submission. Consequently optimisation of NATM excavations during tunnel construction is described. The tunnel is excavated from six faces in time of the paper preparation.

1. Popis 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. 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

¹doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., 3G Consulting Engineers s.r.o. a FSv ČVUT, e-mail: hilar@3-g.cz

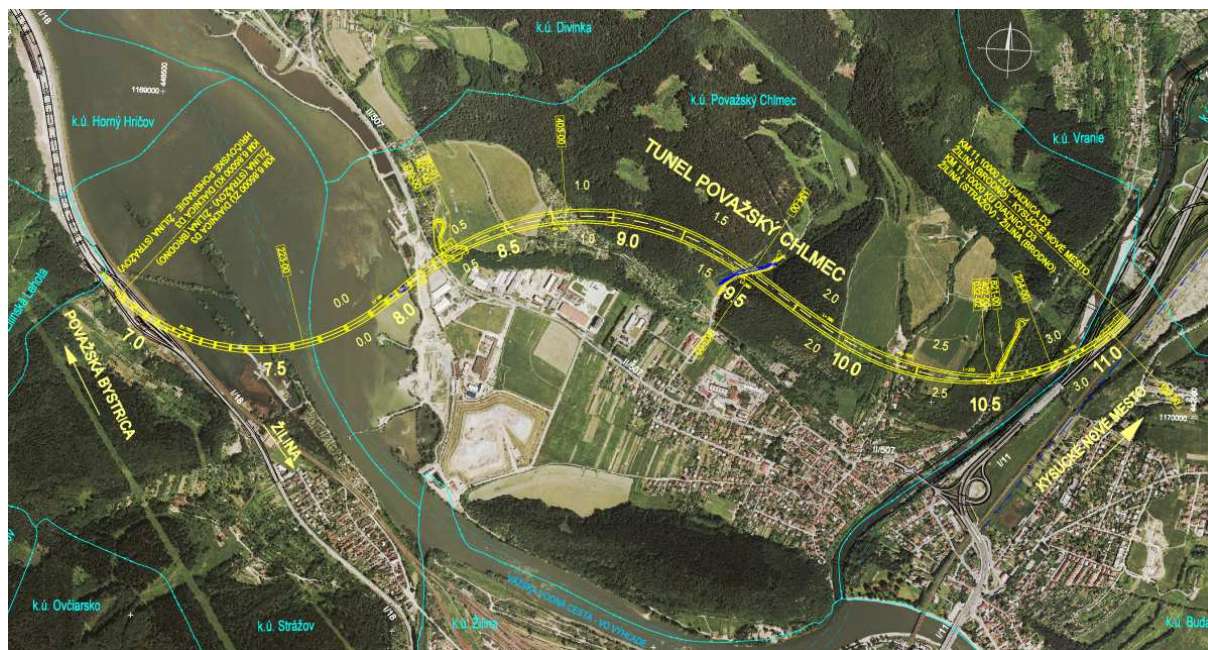
²Ing. Martin Srb, 3G Consulting Engineers s.r.o., e-mail: srb@3-g.cz

³Mgr. Jiří Zmítko, 3G Consulting Engineers s.r.o., e-mail: zmítko@3-g.cz

⁴Ing. Vít Pastrňák, Hochtief CZ a.s., e-mail: vít.pastrnak@hochtief.cz

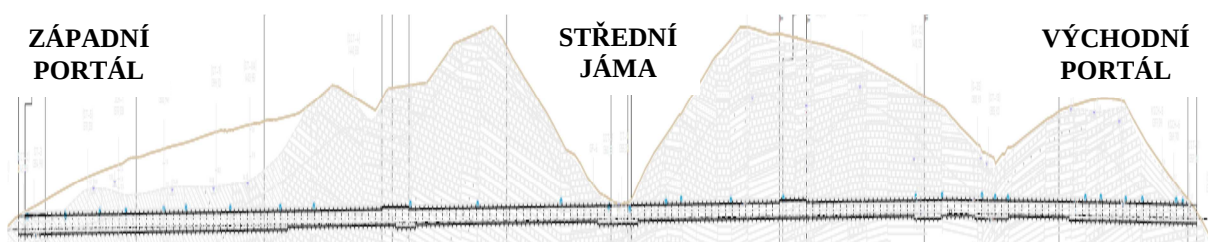
⁵Ing. Viktor Petrás, Hochtief CZ a.s., e-mail: viktor.petrás@hochtief.sk

východního směru. Po cca 2,2 km v tunelu dálnice vyústí na východním portálu situovaném na pravém erozním svahu řeky Kysuce, odkud pokračuje mostem délky cca 400 m přes řeku Kysucu.



Obr.1 Situace trasy nového úseku dálnice D3 s tunelem Povážský Chlmec
Fig.1 Layout of the new D3 highway section with the Povážský Chlmec tunnel

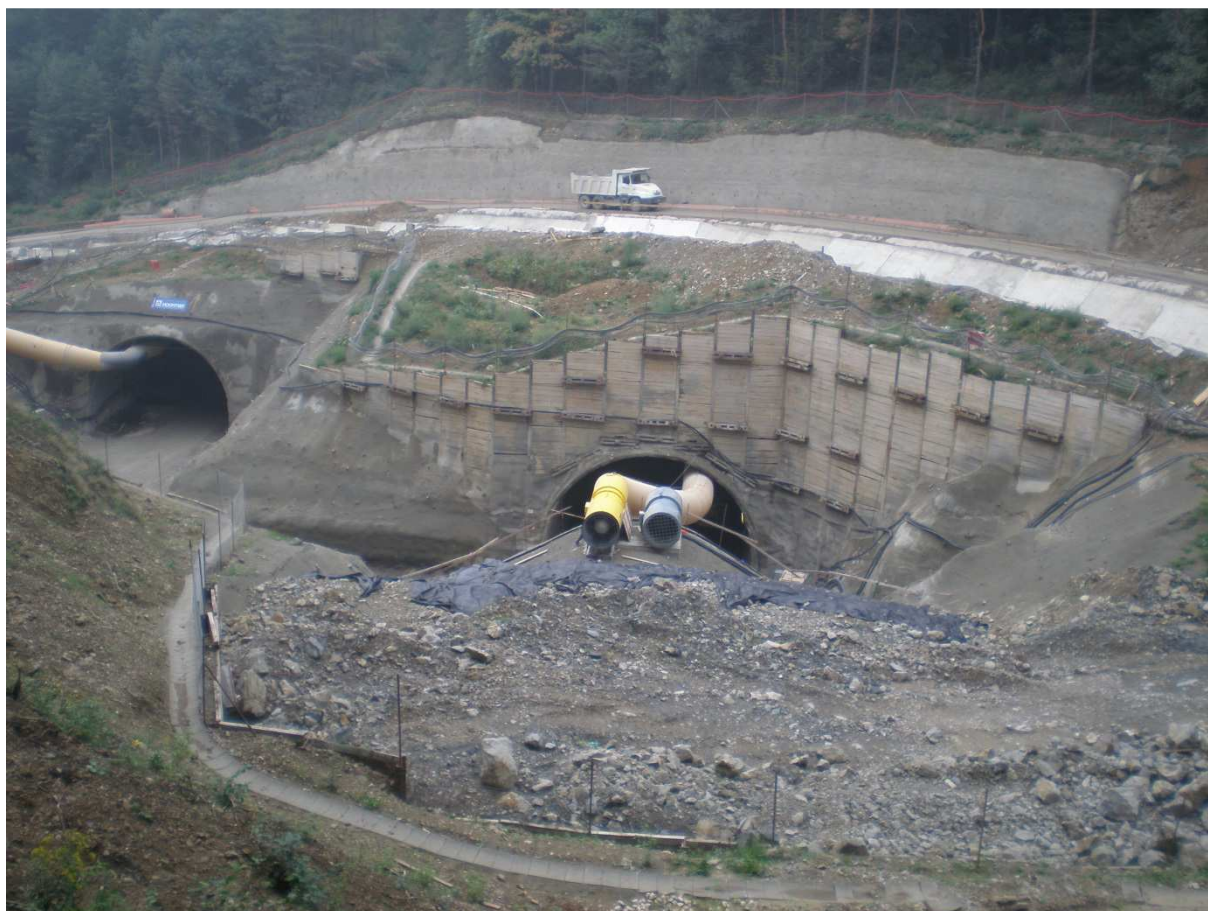
Tunel Povážský Chlmec byl navržen se dvěma protisměrnými tubusy, v každém tubusu budou dva jízdní pruhy. Tunel je ražen pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM) s horizontálním členěním čelby. Stavba byla zahájena v květnu 2014 a plánovaný termín uvedení do provozu je v červnu 2017. Vzhledem k velmi napjatému harmonogramu výstavby je umožněna ražba až z osmi čeleb najednou (kromě ražeb z portálů jsou umožněny i ražby ze střední stavební jámy – obr. 2 a 3). 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 m² (nejlehčí vystrojovací třída 4.1 s patkami) do 105,2 m² (nejtěžší vystrojovací třída 6.3 s uzavřenou spodní klenbou).



Obr.2 Převýšený podélný řez JTT tunelu Povážský Chlmec
Fig.2 Overhigh longitudinal cross-section of the Povážský Chlmec tunnel STT

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.



Obr.3 Stísněný prostor střední stavební jámy - pohled směrem na západ, STT je vpravo (foto Hilar)
Fig.3 A confined area of the central pit - West direction view, NTT is on the right (photo Hilar)

Investorem nového úseku dálnice je Národná 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. Autorem realizační dokumentace je firma IKP. 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 nadvýmětů, atd.) provádí firma Angermeier Engineers. Stavební dozor pro NDS provádí sdružení firem EUTECH&ESP&MULLER&API-D3.

2. Geologické a hydrogeologické poměry

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 vápnitých 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.

Sněžnické 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 (obr.4).



Obr.4 Čelba na kontaktu jílovců a slínovců (vpravo nahoře) se slepenci (vlevo dole) (foto Zmítko)
Fig.4 Tunnel face including contact of claystones and siltstones with agglomerate (photo Zmítko)

Exotické slepence lze charakterizovat jako polymiktní konglomeráty s jílovito-slinitým a vápnito-písčitým tmelem. 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.

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 jílovci, 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.

3. Příprava soutěžní nabídky

Soutěž na výstavbu úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) byla vypsaná podle žlutého FIDICu, volba technologie výstavby byla tedy na zhotoviteli a jako jediné kritérium soutěže je brána celková cena tunelových objektů. Proto firma Hochtief CZ využila externí partnery pro asistenci s přípravou nabídky tunelu, který tvoří přibližně polovinu soutěženého úseku dálnice a má na výslednou cenu velmi významný vliv. Firma 3G Consulting Engineers provedla interpretaci výsledků geotechnického průzkumu a optimalizaci technologických tříd výrubu. Nejdůležitějším výstupem pro kalkulaci nákladů byl předpokládaný rozsah použití spodní klenby, který měl zásadní vliv na nabídkovou cenu díla. Firma IKP Consulting Engineers byla využita pro optimalizaci stavebních jam, rozsahu hloubených a ražených úseků tunelu, tvaru příčného řezu tunelu a jeho definitivního ostění, blokových schémat a bezpečnostních prvků (počet a poloha tunelových propojek, nouzových zálivů, výklenků požárního hydrantu, skříní SOS, výklenků čistění drenáže atd.) [1]. Kromě uvedených firem se na přípravě nabídky podílela i německá centrála firmy Hochtief.

V rámci přípravy soutěžní nabídky provedla společnost 3G Consulting Engineers především následující činnosti [5]:

- Analýza a vyhodnocení geologických poměrů vzhledem k plánované ražbě tunelů
- Analýza přítomných jílových minerálů z hlediska rizika bobtnání
- Návrh optimalizace technologických tříd NRTM projektovaných v DSP (návrh technologických tříd NRTM, souhrn vystrojovacích prostředků, kalkulace objemů a vystrojovacích prostředků)
- Vyhodnocení navržených kvazihomogenních úseků v podélném řezu JTT a STT a přiřazení odpovídajících technologických tříd NRTM
- Vyhodnocení kvality rubaniny s ohledem na její další použitelnost
- Numerické výpočty stability primárního ostění v programu Plaxis 2D (vytvořeno 5 numerických modelů)

Výsledek přiřazení jednotlivých technologických tříd NRTM kvazihomogenním celkům v podélných řezech JTT a STT je patrný z Tab. 1 a 2. Nejdůležitější vliv na nabídkovou cenu měla skutečnost, jaké úseky bude nutné razit se spodní klenbou. Pro nabídku byly 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 zastížené geologické podmínky jsou ještě lepší, než bylo při podání nabídky předpokládáno.

Tabulka 1 Navržené změny rozdělení technologických tříd v JTT
Table 1 Proposed changes of distribution of NATM classes in the STT

klasifikace	S-2P	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	S-23	S-24	S-25	S-26	S-27	S-28	S-29	S-30
Skupina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Podskupina	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1
Podskupina	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.1.6	1.1.7	1.1.8	1.1.9	2.0.1	2.0.2	2.0.3	2.0.4	2.0.5	2.0.6	2.0.7	2.0.8	2.0.9	2.0.10	3.0.1	3.0.2	3.0.3	3.0.4	3.0.5	3.0.6	3.0.7	3.0.8	3.0.9	3.0.10	4.0.1	4.0.2
Podskupina	1.1.1.1	1.1.1.2	1.1.1.3	1.1.1.4	1.1.1.5	1.1.1.6	1.1.1.7	1.1.1.8	1.1.1.9	2.0.1.1	2.0.1.2	2.0.1.3	2.0.1.4	2.0.1.5	2.0.1.6	2.0.1.7	2.0.1.8	2.0.1.9	2.0.1.10	3.0.1.1	3.0.1.2	3.0.1.3	3.0.1.4	3.0.1.5	3.0.1.6	3.0.1.7	3.0.1.8	3.0.1.9	3.0.1.10	4.0.1.1	4.0.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1	1.1.1.1.2	1.1.1.1.3	1.1.1.1.4	1.1.1.1.5	1.1.1.1.6	1.1.1.1.7	1.1.1.1.8	1.1.1.1.9	2.0.1.1.1	2.0.1.1.2	2.0.1.1.3	2.0.1.1.4	2.0.1.1.5	2.0.1.1.6	2.0.1.1.7	2.0.1.1.8	2.0.1.1.9	2.0.1.1.10	3.0.1.1.1	3.0.1.1.2	3.0.1.1.3	3.0.1.1.4	3.0.1.1.5	3.0.1.1.6	3.0.1.1.7	3.0.1.1.8	3.0.1.1.9	3.0.1.1.10	4.0.1.1.1	4.0.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1	2.0.1.1.1.2	2.0.1.1.1.3	2.0.1.1.1.4	2.0.1.1.1.5	2.0.1.1.1.6	2.0.1.1.1.7	2.0.1.1.1.8	2.0.1.1.1.9	2.0.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1	3.0.1.1.1.2	3.0.1.1.1.3	3.0.1.1.1.4	3.0.1.1.1.5	3.0.1.1.1.6	3.0.1.1.1.7	3.0.1.1.1.8	3.0.1.1.1.9	3.0.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1	4.0.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	4.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2
Podskupina	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.6	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.7	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.8	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.9	2.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.10	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.2	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.3	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.4	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.5	3.0.1.1.1.1.1.1.1.1.						

- STT na západ zahájeno 7.4.2015, vyraženo 306 m kaloty (průměr 80 m za měsíc) a 220 m lavice
- JTT na východ zahájeno 4.3.2015, vyraženo 351 m (včetně jednoho nouzového zálivu) (průměr 70 m za měsíc) a 225 m lavice
- STT na východ zahájeno 1.4.2015, vyraženo 113 m kaloty (průměr 30 m za měsíc), zatím bez ražeb lavice

Ražby ze západního portálu (obr.5):

- JTT zahájeno 12.4.2015, vyraženo 396 m kaloty (průměr 110 m za měsíc) a 125 m lavice
- STT zahájeno 16.4.2015, vyraženo 383 m kaloty (průměr 110 m za měsíc) a 110 m lavice

Celkem tedy již bylo vyraženo cca 2000 m v kalotě a cca 1000 m v lavicích, tudíž v kalotě již bylo provedeno cca 50% ražeb, v lavicích bylo provedeno cca 25% ražeb. Uvedené výkony ražeb jsou ovlivněny dostupným množstvím pracovníků a mechanizace, při ražbách ze střední jámy bylo dosud zpravidla raženo na třech čelbách a jedna čelba stála, kromě dvou nouzových zálivů byla ze střední jámy také vyražena první propojka směrem na západ.



Obr.5 Pohled na západní portál s úseky realizovanými metodou „želva“ (foto Hilar)
Fig.5 View on the West portal with section constructed by the „turtle“ method (photo Hilar)

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 (obr.6), které jsou velmi stabilní, tudíž je možné razit kaloty v nejjednodušší technologické třídě 4.1 s délkou záběru až 3,5 m. V dané technologické třídě je používána jedna vrstva sítě bez rámu, 10 cm stříkaného betonu a 5/6 svorníků HUS délky 3m.

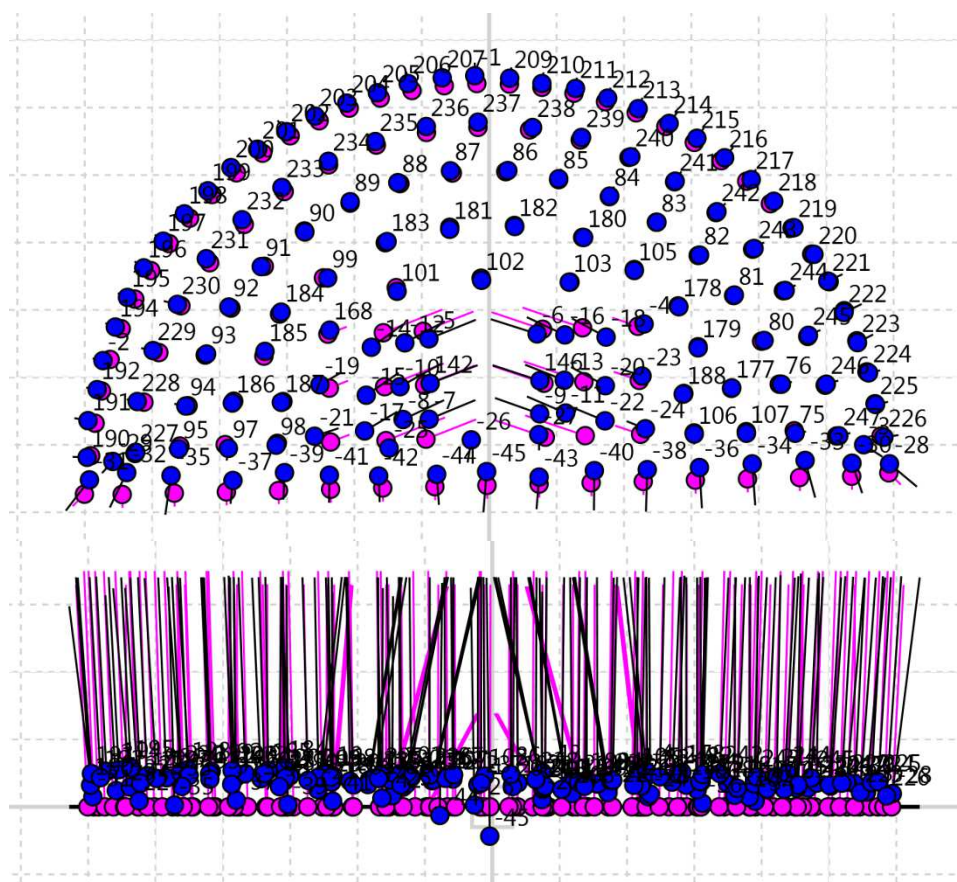


Obr.6 Čelba v prostředí exotických slepenců zajištěná jednou vrstvou sítí bez rámu (foto Hilar)
 Fig.6 Tunnel face in agglomerate supported by one layer of meshes without frame (photo Hilar)

Při uvedených délkách záběrů bez rámu je velmi důležitá přesnost vrtání čelby pro trhaviny a minimalizace nadvylomů. 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.7). Výrub každého záběru je geodeticky zaměřován, geodetické zaměření lze pak následně porovnat se záznamem vrtání. Daným postupem je možné ověřit, nakolik jsou důvody nadvylomů geologické či technologické.

Úpravy geometrie vrtání, zejména pak obrysových vrtů byly prováděny v několika krocích v závislosti jak na velikosti technologického nadvylomu, 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. $2,45^\circ$. 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.

Prorážka úseku JTT mezi střední jámou a západním portálem je předpokládána v polovině srpna 2015, po ní bude následovat prorážka STT na stejném úseku, kde zbývá vyrazit cca 300 m včetně jednoho nouzového zálivu. Po dokončení ražeb ze západního portálu začne firma TuCon razit z východního portálu, který je již připravený pro zahájení ražeb. Po ukončení ražeb ze západního portálu bude zahájena z daného směru betonáž definitivního ostění. V současnosti je zvažována možnost využití nevyztuženého sekundárního ostění v oblastech příznivých geologických podmínek.



Obr.7 Porovnání teoretického vrtného schématu (fialově) se záznamem vrtnání (modře)
– svislý a vodorovný pohled

Fig.7 Comparison of theoretical drilling scheme (purple) and drilling record (blue)
– vertical and horizontal view

Vzhledem k rozsahu provedených ražeb je již možné částečně porovnat předpoklady využití technologických tříd se skutečností. Úsek JTT mezi střední stavební jámou a západním portálem je již skoro vyražen, proto je již známé skutečné rozdělení použitých technologických tříd na daném úseku, který tvoří jednu čtvrtinu ražeb. Vzhledem k obdobnosti STT na daném úseku se jedná o dostatečně reprezentativní vzorek. Porovnání předpokladů a skutečnosti na daném úseku JTT je provedeno v Tab. 3.

Tabulka 3 Porovnání předpokládaného a realizovaného rozdělení technologických tříd
v kalotě JTT mezi střední jámou a západním portálem

Table 3 Comparison of proposed and realised distribution of NATM classes in the STT top
heading between the middle pit and West portal

Technologická třída	DSP 2006 (m)	DSP 2006 (%)	3G 2013 (m)	3G 2013 (%)	Skutečnost 2015 (m)	Skutečnost 2015 (%)
4/1 (bez klenby)	80	7,6	230	21,9	468,8	44,6
4/2 (bez klenby)	150	14,3	0	0,0	147,1	14,0
5/1 (bez klenby)	317	30,2	355	33,8	312	29,7
5/2 (bez klenby)	0	0,0	240	22,9	66,9	6,4
6/1 (s klenbou)	95	9,0	0	0,0	24	2,3
6/2 (s klenbou)	208	19,8	225	21,4	0	0,0
6/3 (s klenbou)	140	13,3	0	0,0	17,1	1,6
MP1 (s klenbou)	60	5,7	0	0,0	14,1	1,3
Celkem	1050	100	1050	100	1050	100
Bez spodní klenby	547	52,1	825	78,6	994,8	94,7
Se spodní klenbou	503	47,9	225	21,4	55,2	5,3

Z Tab.3 je patrné, že rozdělení technologických tříd předpokládané v zadávací dokumentaci (DSP) bylo relativně konzervativní. V zadávací dokumentaci bylo předpokládáno využití spodní klenby na 48% daného úseku, ve skutečnosti bylo ve třídách se spodní klenbou vyraženo pouze 5%. Nicméně i u těch 5% nebude spodní klenba provedena, protože spodní část profilu tunelu již je v dostatečně pevné hornině a konvergence se ustálily bez nutnosti uzavření spodní klenby. Vyhodnocení provedené firmou 3G před zahájením ražeb s předpokladem 21% daného úseku se spodní klenbou je výrazně blíže zastíženě 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.

5. Závěr

Dosavadní zkušenosti (srpen 2015) 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, t.j. 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 uchýlovala 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 zástřik 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 systém 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.

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TE01020168.

6. Seznam použité literatury

- [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.