

TUNEL POVAŽSKÝ CHLMEC OD PROJEKTU K REALIZACI

POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL FROM DESIGN TO REALISATION

Libor Mařík¹

ABSTRAKT

V květnu 2014 byla zahájena výstavba dvoutroubového dálničního tunelu Považský Chlmec v úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno). V době vydání článku byly vyhloubeny stavební jámy západního i východního portálu i stavební jáma střed. Na západním portále dokončil zhotovitel zpětný zásyp obou želv a vyrazil pod nimi plný profil tunelu. Probíhá ražba kaloty i opěří v obou tunelových troubách. Ve stavební jámě střed je konstrukce želvy rovněž zasypána a ražba probíhá v obou tunelových troubách směrem k východnímu i západnímu portálu. Na východním portále se provádí zajišťovací práce portálového svahu a ražba dosud nebyla zahájena. Proto není v článku technické řešení východního portálu popsáno. Text popisuje práci konzultantů a projektantů od fáze poradenské činnosti při zpracování nabídky zhotovitele stavebních prací přes vlastní projektování realizační dokumentace tunelu v režimu „navrhni a postav“ podle žluté knihy FIDIC až po první zkušenosti z realizace, které umožňují porovnání předpokladů projektu se skutečně zastíženými geotechnickými podmínkami.

ABSTRACT

The construction of the twin-tube Považský Chlmec motorway tunnel in the D3 motorway section between Žilina (Strážov) and Žilina (Brodno) commenced in May 2014. At the time of publishing this paper, the excavation of construction pits for both the western and eastern portals and the construction pit in the middle of the route was finished. At the western portal, the contractor finished backfilling of both “tortoise shell” structures and the excavation of the full tunnel profile under them. The excavation of the top heading and bench is underway in both tunnel tubes. Backfilling the “tortoise shell” structures in the mid-point excavation pit is also finished and the excavation proceeds in both tunnel tubes toward both the eastern and western portals. The portal slope at the eastern portal is being stabilised and the tunnel excavation has not begun yet. For that reason the technical solution to the eastern portal is not described in the paper. The text describes the work of consultants and designers, from the phase of consulting activities during the work on construction contractor’s bid, through the work on the detailed design in the “design and build” regime according to the FIDIC Yellow Book, up to the initial experience from the realisation, which allow for comparing the design assumptions with actually encountered geotechnical conditions.

1 Úvod a základní informace

Dálnice D3 prochází v úseku Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) územím, které vyžaduje kvůli náročné morfologii terénu celou řadu umělých staveb. Trasa v celkové délce 4 250 m překonává nejprve směrově rozdělenou mostní estakádou délky 1 493 m (levý most) a 1 437 m (pravý most) vodní nádrž Hričov. Ta plynule přechází na západním portále do

¹Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a.s., Plzeňská 16/3217, 150 00 Praha 5, tel.: +420 605 707 767,
e-mail: libor.marik@hochtief.cz

tunelu Považský Chlmec, aby se z něj po více než dvou kilometrech opět vynořila a přešla na směrově rozdělený most přes řeku Kysucu délky 410 m (levý most) 402 m (pravý most). Stavba byla zahájena v květnu 2014 a plánovaný termín uvedení do provozu je v červnu 2017. Soutěž byla vypsána a realizace probíhá v režimu „navrhni a postav“ s definováním smluvních podmínek podle žluté knihy FIDIC. To projektantovi i zhotoviteli umožňuje v rámci pravidel uvedených v zadávací dokumentaci optimalizovat již ve fázi nabídky technické řešení i postup výstavby. Tunel je navržen jako dvoutroubový kategorie T2-8 s šířkou vozovky mezi obrubníky 8 m a výškou průjezdného průřezu 4,8 m. Při provozování tunelu se nepočítá s obousměrným provozem. V případě uzavření jedné tunelové trouby bude doprava převedena na objízdnu trasu. To má vliv zejména na technologické vybavení tunelu. Tunel je ražen pomocí NRTM v celé délce s horizontálním členěním výrubu. Hloubené úseky jsou navrženy nejen v oblasti východního a západního portálu, ale i ve střední stavební jámě, kde kvalita horninového masivu a výška nadloží neumožňuje tunel razit. Z celkové délky jižní tunelové trouby 2 186,5 je raženo 2 120,5 m. V severní tunelové troubě celkové délky 2 249 m je raženo 2 200 m. Plocha výrubu se pohybuje od 83 m² v případě tunelu na patkách až po 105 m² u tunelu se spodní klenbou a mění se s tloušťkou primárního ostění, velikostí nadvýšení teoretického tvaru o předpokládané deformace, stavební tolerance a tloušťku hydroizolačního souvrství. Výška nadloží dosahuje až 125 m. Trasa tunelu však prochází i územím, kde naopak malá výška nadloží vede k ražbě pod zastropením, známé také pod názvem metoda „želva“. Tato konstrukce je na západním portále použita na jižní tunelové troubě v délce 37,5 m a na severní tunelové troubě v délce 50 m. Ve střední stavební jámě je nasazena pro zahájení ražby v severní tunelové troubě směrem k východnímu portálu a délka úseku raženého pod želvou je 34,5 m. Ke zvláštnostem tunelu Považský Chlmec patří jistě i skutečnost, že napjatý harmonogram výstavby vyžaduje ražbu tunelu až z osmi čeleb. Po dvou ze západního a východního portálu a celkem ze čtyř čeleb z prostoru střední stavební jámy. Tato skutečnost je při tunelu této délky nepochybně raritou. Oblast Žiliny, ve které se tunel nachází, patří do území s možností výskytu zemětřesení. Proto jsou dočasné i trvalé konstrukce tunelu a stavebních jam posuzovány i na seismické účinky. Ražbu tunelu provádí ze střední stavební jámy firma HOCHTIEF, od západního portálu její subdodavatel firma TuCon.

2 Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry

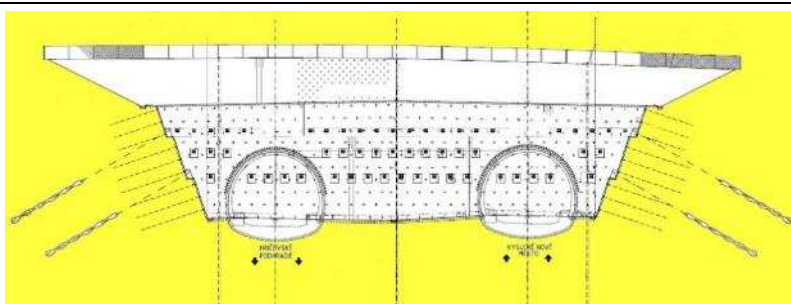
Území v trase tunelu je součástí pieninského bradlového pásma. Severní a jižní část koridoru tunelu je tvořena flyšovým souvrstvím vápnatých jílovců a pískovců. Ve vrchní části tohoto souvrství se nacházejí exotické slepence a pískovce, které převládají nad vrstvami jílovců a slínovců. Hlavní složkou pískovců je křemen (20 – 60 %), úlomky karbonátových hornin (5 – 56 %), granitoidních a metamorfovaných hornin (4 – 29 %) a úlomky vulkanitů (5 %). Tmel je karbonátový (3 – 30 %). Z hlediska tektoniky území leží tunel na východním okraji zóny paralelních zlomů severo-j jižně orientovaného žilinského systému. Pokryvné útvary tvoří deluviální komplex kvarterních sedimentů vyvinutých na svazích údolí, které v menších mocnostech zasahují i do vrcholových částí území nad tunelem. Jedná se o jíly střední až nízké plasticity s polohami písčitého jílu a kamenito jílovité sutě. V západní portálové oblasti a ve svahu nad západním portálem se pod těmito vrstvami nachází terasové sedimenty o mocnosti 1 m až 7 m. Jedná se o písky s příměsí jemnozrnné zeminy, jílu šterkovitý, šterk jílovitý a šterk s příměsí jenozrnné zeminy. Výškově zasahují tyto terasové sedimenty v oblasti západního portálu do kaloty tunelu a komplikují stabilitu přístropí. Hladina podzemní vody byla zjištěna jen lokálně v hloubce od 4 m do 15 m na bázi terasových sedimentů, resp. v podložních vrstvách mezozoického komplexu. Při provádění hydrogeologického průzkumu ani jeden vzorek odebrané vody nevykazoval agresivitu na

betonové konstrukce.

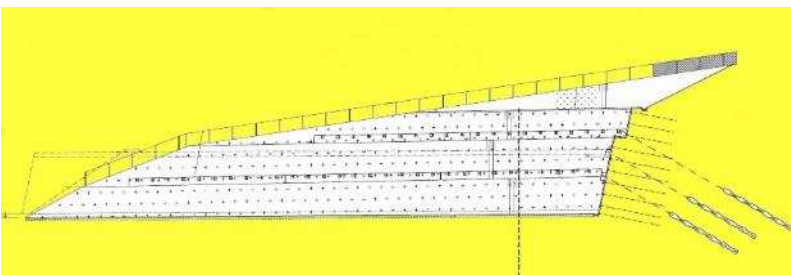
V rámci inženýrskogeologického průzkumu byl horninový masiv rozdělen do 4 kvazi homogenních celků pro ražené úseky tunelu a 3 celků pro hloubené portálové úseky a střední stavební jámu. Pro každý celek bylo popsáno očekávané chování masivu při ražbě nebo hloubení, stanoveny rizikové faktory a popsána doporučení pro zajištění stability výrubu, resp. svahů stavebních jam a pro bezpečnost provádění. Tato doporučení nejsou pro provádění závazná a zhotovitel si může vypracovat vlastní interpretaci výsledků průzkumu, který je součástí zadávací dokumentace. V takovém případě na sebe bere geotechnické riziko.

3 Technické řešení západního portálu

Svahy stavební jámy byly stabilizovány vrstvou stříkaného betonu o minimální tloušťce 150 mm se dvěma vrstvami sítí KARI 100x100x6 mm. V dolních partiích skalního podloží byly použity kotvy SN průměru 32 mm a délky 8 m v šachovnicovém rastru 1,5x1,5 m. Vrstva pokryvných útvarů byla prokottvena kotvami SN průměru 32 mm a délky 6 m v šachovnicovém rastru 1,5x1,5 m. Stavební jáma byla dále kotvena ve dvou úrovních předpjatými lanovými kotvami. První kotevní úroveň 10 m nade dnem jámy tvořilo 29 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 22 m s délkou kořene 10 m. Druhou kotevní úroveň 5 m nade dnem jámy tvořilo 44 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 20 m s délkou kořene 10 m. Portálový svah byl zajištěn kromě již popsané vrstvy vyztuženého stříkaného betonu a SN kotev předpjatými lanovými kotvami ve třech úrovních. První kotevní úroveň 10 m nade dnem jámy tvořilo 22 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 25 m s délkou kořene 10 m. Druhou kotevní úroveň 7 m nade dnem jámy tvořilo 15 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 22 m s délkou kořene 10 m a třetí kotevní úroveň 5 m nade dnem jámy tvořilo 19 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 20 m s délkou kořene 10 m. Všech 129 ks lanových kotev v celkové délce 2778 m bylo navrženo v trvalém provedení a předepnuto přes železobetonovou převážku o rozměrech 600x1000 mm.



Obr. 1 Původní zajištění svahu západního portálu
Fig. 1 Original stabilisation of the western portal



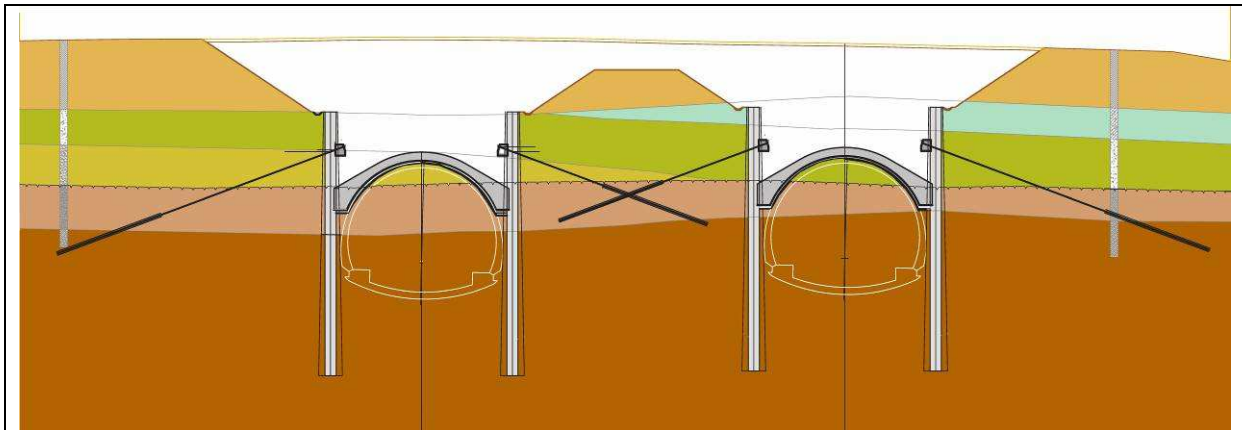
Obr. 2 Původní zajištění svahů stavební jámy západního portálu
Fig. 2 Original stabilisation of the slopes of the construction pit at the western portal

dne dnem jámy tvořilo 15 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 22 m s délkou kořene 10 m a třetí kotevní úroveň 5 m nade dnem jámy tvořilo 19 ks předpjatých lanových kotev 6ØLs 15,5 mm, délky 20 m s délkou kořene 10 m. Všech 129 ks lanových kotev v celkové délce 2778 m bylo navrženo v trvalém provedení a předepnuto přes železobetonovou převážku o rozměrech 600x1000 mm.

Pro zahájení ražby ze stavební jámy zajišťoval přístropí nad každým tunelem mikropilotový deštník z 60 ks mikropilot Ø76/10 mm délky 16 m vrtaných s osovou roztečí 300 mm. Způsob zajištění stavební jámy a sklony portálového svahu

ukazuje pohled na portálový (obr. 1) a severní (obr. 2) svah stavební jámy na. Objekt technického řešení západního portálu je v zadávací dokumentaci označen jako nezávazný. Proto se rozhodli zástupci firmy HOCHTIEF po konzultaci s projektantem již ve fázi nabídky

upravit technické řešení s cílem zmenšit objem zemních prací, snížit objem činností s technologicky vynucenými pauzami (betonáž převázek, provádění lanových kotev ve třech úrovních) a zkrácení hloubeného úseku pro rychlé zahájení ražby tunelu. Při návrhu zajištění západního portálu vycházel projektant z technického řešení, které již dříve použila firma HOCHTIEF na tunelu Euerwang v Německu. Jednalo se o konstrukci želvy po stranách v patách upnutou do řady velkopřůměrových pilot, zajišťujících stabilitu stavební jámy i boků tunelu. Vzhledem k reliéfu terénu se délka úseku raženého pod želvou v severní a jižní tunelové troubě liší. V jižní tunelové troubě délka úseku činí 37,5 m, v severní tunelové troubě je 50 m. Příčný řez v místě obou želv znázorňuje obr. 3.



Obr. 3 Příčný řez v místě želv na západním portále

Fig. 3 Cross-section in the location of “tortoise shell” structures at the western portal

Projektování konstrukce naráželo na četná úskalí. Jako největší se ukázal problém s volbou matematického modelu, který by výstižně a věrohodně dokázal zohlednit interakci kotvené, pilotové stěny a konstrukce želvy ve všech fázích výstavby, a to se zohledněním všech z toho plynoucích zatěžovacích stavů. Propojením výztuže klenby želvy a pilot vznikl styčník, který byl schopen přenášet vnitřní síly mezi oběma konstrukcemi. Citlivostní analýza ukázala, že v závislosti na obtížně předvídatelné deformaci pilot se hodnoty vnitřních sil v klenbě želvy i ve styčníku pilot a želvy mění v řádu desítek procent. Vzájemné ovlivnění obou relativně tuhých konstrukcí bylo nutno posoudit z hlediska jejich možného chování v průběhu výstavby. Faktory ovlivňujícími výpočet byly nejen geotechnické parametry horninového prostředí a materiálové charakteristiky konstrukcí, ale i přesný způsob provádění ovlivněný matematicky obtížně stanovitelným lidským faktorem. Výpočet byl prováděn v programech PLAXIS a SCIA Engineer s tím, že ani jeden z těchto programů nebyl schopen danou problematiku řešit komplexně. V programu PLAXIS byly modelovány fáze výstavby včetně ražby tunelu pod želvou. Matematický model MKP zohledňoval interakci konstrukce s horninovým masivem. Z hlediska fází výstavby se jednalo o výkop stavební jámy do úrovně pro vrtání pilot, jejich vrtání a betonáž, vyhloubení stavební jámy do úrovně převázky pro předpínání lanových kotev, předepnutí lanových kotev, vyhloubení stavební jámy s tvarem dna pro betonáž želvy, rozepření pilot klenbou želvy, vyražení kaloty i opěří tunelu a provedení zpětného zásypu do úrovně hlavy pilot. Výpočet vycházel z modelu v programu PLAXIS. Následně byly v programu SCIA Engineer nastaveny takové okrajové podmínky, které v daném zatěžovacím stavu vystihovaly deformační a silové chování konstrukce, jak bylo modelováno v programu PLAXIS. Tak byla provedena kalibrace obou modelů. Konstrukce byla pak v programu SCIA Engineer podrobena dalšímu zatěžování nelineární kombinací zatěžovacích stavů, které v programu PLAXIS nebylo možné simulovat. Jednalo se zejména o nelineární zatížení teplotou v zimě i v létě, smršťování s vlivem dotvarování betonu a seismické účinky zemětřesení pro oblast Žiliny. Zatížení zásypem bylo v modelu rozloženo na vertikální a horizontální složku. Do kombinací zatěžovacích stavů tyto složky vstupovaly jako samostatné

zatěžovací stavy, aby bylo možné vyšetřit jejich nejnepříznivější účinek z hlediska únosnosti celého systému „piloty – želva“. Vypočtené vnitřní síly z programu SCIA Engineer byly vstupními hodnotami pro dimenzování konstrukce v programu FINEBETON.

Výstavba jámy západního portálu byla zahájena v listopadu 2014. Pro každou tunelovou troubu byla nejprve vyhloubena mělká, svahovaná stavební jáma, z jejíhož dna byly vrtány



Obr. 4 Obnažená výztuž pilot a vlepená kotevní železa pro napojení želvy
Fig. 4 Exposed reinforcement of piles and the anchoring steel fixtures glued into them for connecting the “tortoise shell” structures to them

vždy dvě řady velkopřůměrových pilot o průměru 800 mm a délky 19 m, 18 m a 16 m. Piloty vrtané s osovou vzdáleností 1 m nad konstrukcí želvy zajišťovaly stabilitu boků stavební jámy, pod konstrukcí želvy stabilizovaly boky tunelu. I když se zpočátku zhotovitel obával, zda bude možné požadovanou hloubku vrtání dosáhnout, a investor požadoval alternativní řešení pro případ, že by se díky pevnosti horniny nepodařilo piloty dovrátat, vše proběhlo podle předpokladů projektu. Takto vzniklou pilotovou stěnu zajišťovala v jedné úrovni řada předpjatých lanových kotev délky 18 m a 16 m s kořeny délky 8 m, vrtaných s osovou vzdáleností 2 m. Druhou úroveň

zajištění pilotové stěny představovala klenba želvy, která sloužila jako rozpěra pro zachycení vodorovných sil. Konstrukci želvy propojovala s velkopřůměrovými pilotami speciální kotevní železa vlepená do betonu pilot. Pro vytvoření niky sloužící k napojení výztuže pilot a želvy byly v armokoši pilot naprojektovány „kapsy“ vyplněné snadno odstranitelným materiálem. Tam, kde se nepodařilo vložku do armokoše správně upevnit, musela být kapsa dodatečně vyšramována. Kapsu v pilotové stěně i s kotevními železy pro napojení želvy na piloty ukazuje obr. 4. Celkem bylo odvrtno na severní tunelové troubě 18 ks pilot délky 16 m, 12 ks pilot délky 18 m a 70 ks pilot délky 19 m. Na jižní tunelové troubě se jednalo o 12 ks pilot délky 16 m, 14 ks pilot délky 18 m a 50 ks pilot délky 19 m. Celkem zajišťuje 87,5 m tunelu raženého pod želvou 3 228 m pilot a 78 předpjatých kotev v délce 1326 m kotvených přes železobetonovou převážku o rozměrech 700x800 mm. Čelo stavební jámy pro tvarování želvy stabilizovala štětová stěna kotvená v konečném řešení ve dvou úrovních



Obr. 5 Zajištění čela jámy štětovicovou stěnou
Fig. 5 Excavation front end supported with a sheet pile wall

předpjatými lanovými kotvami. Stěna stejné konstrukce zajišťovala stabilitu stavební jámy na rozhraní budoucího hloubeného a raženého tunelu (obr. 5).



Obr. 6 Odtěžení stavební jámy do úrovně převážek
Fig. 6 Excavation of the construction pit down to the level of walers



Obr. 7 Tvarování dna jámy pro betonáž želvy
Fig. 7 Shaping the excavation pit bottom for casting the concrete “tortoise shell” structure



Obr. 8 Vyrovnávací beton pro dosažení přesného tvaru želvy
Fig. 8 Levelling concrete for achieving the precise shape of the “tortoise shell” vault



Obr. 9 Separáční vrstvy a mont z výztuže  elvy
Fig. 9 Separation layers and the placement of the “tortoise shell” concrete reinforcement

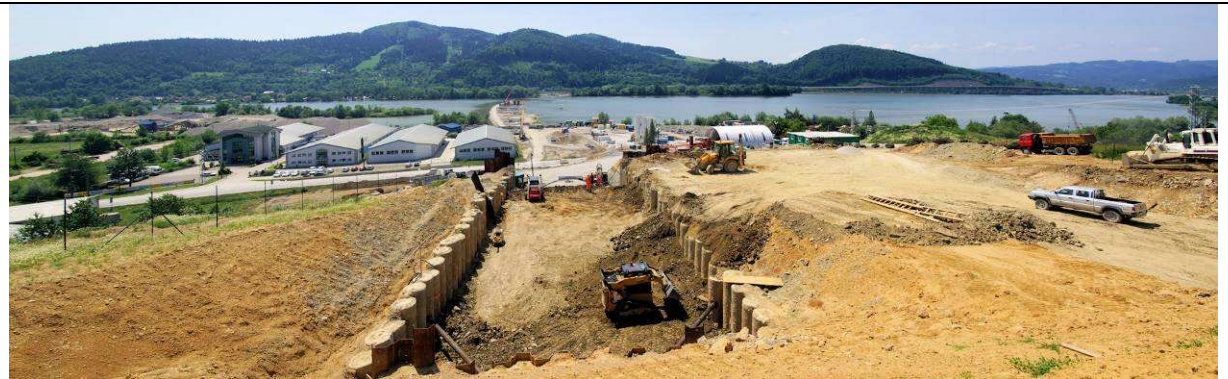
Po odvrtání pilot zahájila firma EUROVIA hloubení stavební jámy mezi pilotovými stěnami na úroveň převážky lanových kotev. Na této úrovni došlo k první technologické pauze spojené s vytvrdnutím betonu převážky a kořenů lanových kotev. Tuto fázi výstavby ukazuje fotografie na obr. 6. Následně probíhalo těžení stavební jámy na úroveň jejího dna ve tvaru klenby želvy. Díky použití vhodné mechanizace i kvalitě horninového masivu se zhotoviteli podařilo dosáhnout požadovaného tvaru bez větších odchylek od projektovaného tvaru. Zemní těleso, vytvářející bednění želvy, bylo tvořeno pokryvnými útvary a silně zvětralými slínovci a jílovcí na jejich bázi. Zemní práce spojené s tvarováním dna stavební jámy do tvaru klenby ukazuje obr. 7. Menší odchylky vyplnil zhotovitel hubeným betonem stahovaným pomocí dřevěných šablon, jak ukazuje obr. 8. Na upravený povrch dna stavební jámy vyrovnaný do tvaru klenby želvy, pokrytý separační fólií a geotextilií byla po blocích betonáže smontována výztuž a provedena betonáž klenby želvy (obr. 9). Vzhledem k napjatému harmonogramu výstavby použil zhotovitel pro bloky betonáže blíže k portálu vyšší pevnostní třídu betonu, než předepisovala projektová dokumentace, aby dříve dosáhl pevnosti potřebné pro zahájení ražby pod želvou. Ta byla ve smlouvě pro realizaci tunelu milníkem, jehož nesplnění by znamenalo penalizaci. Projektové řešení umožňovalo ražbu pod želvou bez omezení délky záběru jak v kalotě, tak v opěři a ražba proto postupovala díky dobré rozpojitelosti masivu

tunelovým bagrem velmi rychle. Po vyražení kaloty a opěří v úseku pod želvou došlo k vytvarování boků tunelu do tvaru raženého tunelu pomocí stříkaného betonu primárního ostění, nanášeného na stěny z velkopřůměrových pilot.



Obr. 10 Vyražení opěří pod želvou a podstříkání jejích patek primárním ostěním
Fig. 10 Excavation of the bench under the “tortoise shell” structure and application of shotcrete under its footings as a part of the primary lining

Podstříkání patek želvy zároveň sloužilo jako podpůrný prvek nutný pro zásyp želvy (obr. 10). Stavba postupovala bez větších technických komplikací a v době konání konference jsou již obě želvy na západním portále zasypány do úrovně hlav velkopřůměrových pilot (obr. 11), tunel pod nimi vyražen a ražba pokračuje dále v obou troubách pomocí NRTM s horizontálním členěním výrubu směrem do střední stavební jámy. Dosypání na úroveň původního terénu bude provedeno až po betonáži definitivního ostění.

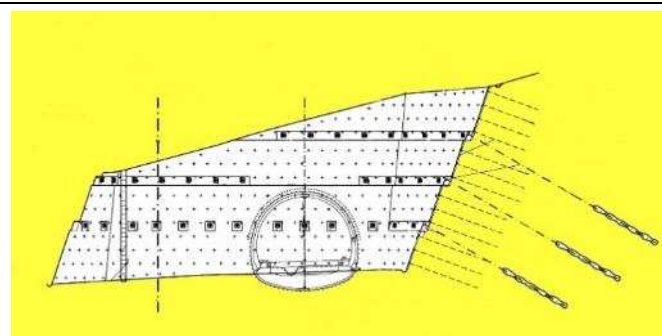


Obr. 11 Zásyp želv na obou troubách západního portálu
Fig. 11 Backfill of the “tortoise shell” structures at both tunnel tubes at the western portal

4 Střední stavební jáma

Nedostatečná výška nadloží zhruba ve středu trasy tunelu vyvolala nutnost otevření třetí stavební jámy, nacházející se v údolí situovaném do průběžné zlomové poruchy s orientací severovýchod-jihozápad. Dno výrazně asymetrického tvaru údolí vyplňují fluvialní sedimenty horských toků. Povrchovou vrstvu náplav tvoří jíly s ostrohrannými úlomky horniny a valouny z rozložených slepenců skalních výchozů nad údolím. Pod touto vrstvou se nalézají štěrkovité zeminy různého stupně zahlinění i mocnosti. Na bázi pokrývá se nacházejí vrstvy hrubozrnných slepenců s vysokým obsahem opracovaných valounů až balvanů s pevným, karbonitickým tmelem. Východní, bradlový svah spadá prudce do údolí a na jeho úpatí lze pozorovat suťové kužele. Západní svah je spíše pozvolný s malou mocností pokravných útvarů. Hladina podzemní vody byla zastižena v pokravných útvarech ve hloubce 2 až 4 m pod úrovní terénu. Údolím protéká bezejmenný potok, který tvoří pravostranný přítok Váhu. Jeho vydatnost je úzce spojena s klimatickými poměry v dané lokalitě. Vzhledem k dotování potoka z pramenů vyvěrajících na úpatí okolních hor nevysychá ani v letních měsících. Podél potoka vede lesní cesta. Před zahájením prací na hloubení stavební jámy bylo nutné přeložit jak cestu, tak koryto potoka. V zadávací dokumentaci byla stavební jáma navržena jako svahovaná a stabilitu jejích boků zajišťovaly kotvy (hřebíky) typu SN

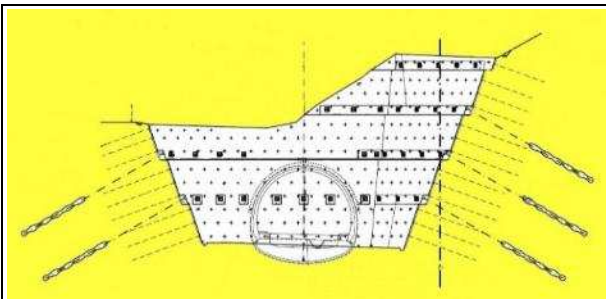
osazované do cementové zálivky a dále předpjaté lanové kotvy kotvené přes železobetonové prahy. Lokální stabilitu svahů zajišťovala vrstva stříkaného betonu se sítí KARI.



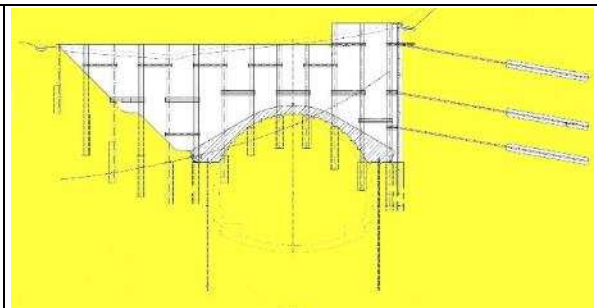
Obr. 12 Původní svahování a zajištění západního portálu severní tunelové roury
Fig. 12 Original sloping and stabilisation of the western portal of the northern tunnel tube

Stavební jáma hloubky 17 m až 21 m byla navržena s jednotným sklonem svahů 3:1 až k povrchu území, portálové svahy byly navrženy ve sklonu 5:1 až na úroveň terénu. Způsob původního zajištění je patrný z obr. 12, který znázorňuje západní portálový svah severní tunelové trouby. Svahy byly členěny na etáže s lavičkami. V patě každé etáže byla navržena kotevní úroveň lanových předpjatých kotev 6 Ø15,5 v délkách 16 m, 18 m, 20 m, 22 m a 24 m vrtaných s roztečí 3 m. Celkem bylo navrženo 219 ks

předpjatých lanových kotev v celkové délce 4266 m, stříkaný beton o celkové ploše 4590 m², výztuž stříkaného betonu ze sítě KARI o hmotnosti 51,6 tun a kotvy SN délky 6 m a 8 m v celkovém počtu 1874 ks a celkové délce 14 244 m. Do stavební jámy byly situovány v obou tunelových troubach nouzové zálivky a mezi nimi průjezdná tunelová propojka. Ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele došlo v souvislosti s úpravou blokového schéma definitivního ostění a redukcí počtu bezpečnostních stavebních úprav i k redukcí počtu nouzových zálivů. Zmenšením počtu nouzových zálivů z 6 na 4 byly oba zálivky ze střední stavební jámy odstraněny. Cílem nového technického řešení v rámci zpracování nabídky bylo snížit objem zemních prací, zmenšit půdorysné rozměry stavební jámy a vzhledem k ne zcela příznivým geotechnickým podmínkám i dobu jejího otevření. Proto došlo ke zkrácení jámy ve směru tunelových trub, k jejímu zúžení díky odstranění nouzových zálivů a v místě očekávaných přítoků podzemní vody opět k návrhu želvy. Toto řešení umožňovalo zasypání části stavební jámy nad želvou ještě dříve než ostatní části jámy a minimalizovat tak riziko neočekávaných situací. Vzhledem k omezené ploše záboru pozemků nebylo vždy možné zmírnit sklon svahů a projektant přistoupil v horních partiích stavební jámy k použití



Obr. 13 Původní řešení východního portálu severní tunelové trouby
Fig. 13 Original solution to the eastern portal of the northern tunnel tube



Obr. 14 Nové řešení s ohledem na inženýrskogeologické podmínky
Fig. 14 The new solution taking into account engineering geological conditions

kotvených záporových stěn. Obr. 13 a 14 porovnávají původní a nové technické řešení východního portálu severní tunelové trouby, kde byla původně svahovaná stavební jáma nahrazena záporovou stěnou a konstrukcí želvy. Před zahájením zemních prací byly dostupnou mechanizací provedeny kopané sondy, které potvrdily přítomnost zahliněných sutí a podpořily správnost rozhodnutí upustit od svahované stavební jámy ve sklonu svahů 3:1, resp. až 5:1. Stavební práce začaly vrtáním zápor, přičemž jejich hloubka vycházela z

prognózy úrovně báze pokryvů určené na základě inženýrskogeologického průzkumu, který byl součástí zadávací dokumentace.

Obr. 15 dokumentuje počáteční fáze vrtání zápor a ukazuje geologické poměry na východním portálovém svahu severní tunelové trouby. Vzhledem k proměnnému horizontu pískovců a slepenců musela být hloubka vrtání podle informací zhotovitele často upravována a projektant musel na tuto skutečnost rychle reagovat změnou úrovně převážek pro lanové kotvy. Vyhodnocení vrtů pro záporny po obvodu stavební jámy poskytlo poměrně přesnou představu o rozhraní pokryvných útvarů i kvalitě skalního podkladu, což projektant využil k přesnějšímu návrhu konstrukce želvy i zahájení ražeb na



Obr. 15 Geologické poměry na východním svahu údolí

Fig. 15 Geological conditions on the eastern slope of the valley

všech čtyřech portálech stavební jámy. Na rozdíl od západního portálu spočívají patky želvy ve střední stavební jámě na rostlém terénu vyztuženém vertikálně vrtanými mikropilotami. Vzhledem k posunu termínu zahájení ražeb do zimních měsíců byly původně nad profilem kaloty navržené železobetonové věnce nahrazeny kotvenými ocelovými převážkami, které nad tunely držely paty zápor. Zajištění svahů, fáze výstavby želvy a stísněné poměry střední stavební jámy ukazuje obr. 16. Problematiku ražeb popisuje další kapitola.



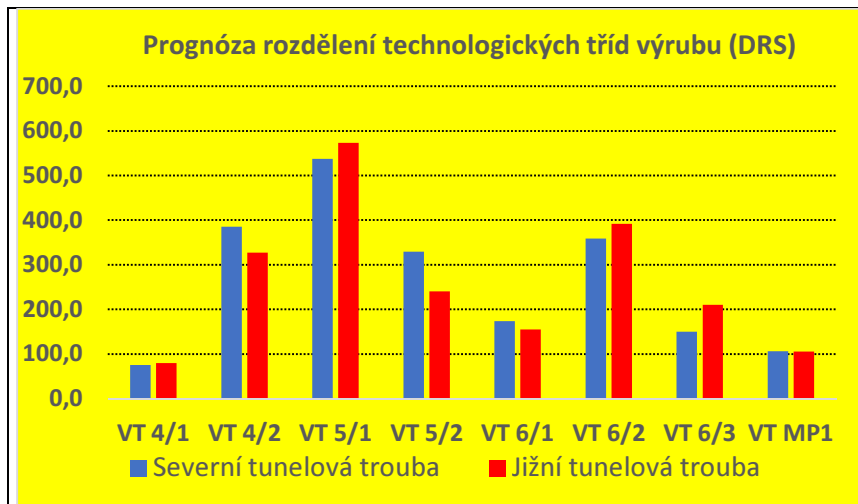
Obr. 16 Celkový pohled na východní svah stavební jámy

Fig. 16 Overall view of the eastern slope of the construction pit

5 Technologické třídy výrubu a ražba tunelu

V zadávací dokumentaci byly pro zajištění stability výrubu navrženy na základě interpretace výsledků inženýrskogeologického průzkumu technologické třídy výrubu a jejich rozdělení po trase obou tunelových trub. Ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele tunelu prováděla firma 3G Consulting Engineers v rámci konzultační činnosti pro firmu HOCHTIEF novou interpretaci geotechnických poměrů a úpravu jednotlivých prvků zajištění stability výrubu v rámci jednotlivých technologických tříd výrubu. Realizační dokumentace

zpracovaná firmou IKP Engineers Group respektovala počet tříd výrubu a jejich rozdělení po trase tunelů ze zadávací dokumentace, zohledňovala však redukci prvků zajištění výrubu podle návrhu 3G Consulting Engineers. Technologický postup výstavby byl ve fázi zpracování realizační dokumentace konzultován se zástupci firmy HOCHTIEF, která je garantem tunelového úseku stavby. Grafické znázornění zastoupení jednotlivých tříd výrubu po délce tunelových trub podle prognózy ze zadávací dokumentace ukazuje obr. 17. Do nejtěžších geotechnických podmínek byly navrženy technologické třídy výrubu 6.3, 6.2 a 6.1.



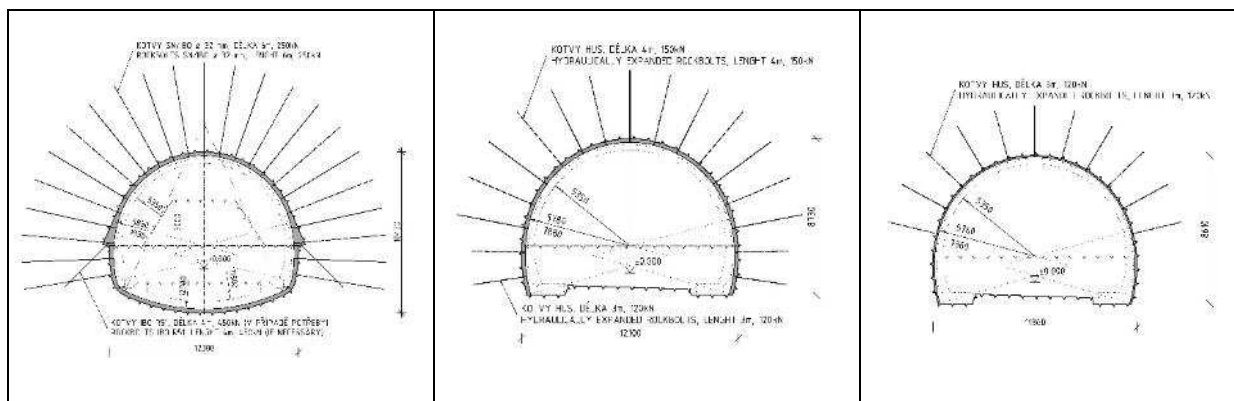
Obr. 17 Prognóza zastoupení tříd výrubu podle realizační dokumentace

Fig. 17 Prognosis of the representation of excavation support classes according to the design of means and methods

Tyto třídy jsou situovány do příportálových úseků a do tektonických poruch. V úsecích ražby, kde byly očekávány velmi špatné geotechnické poměry, byla v zadávací dokumentaci navržena ražba pod mikropilotovým deštníkem. Jednalo se zejména o úseky s nízkým nadložím, navazující na stavební jámu západního portálu. Tato třída nebyla při ražbě použita. Po překonání příportálových

úseků a zlepšení IG poměrů byl v realizační dokumentaci plánován přechod do technologických tříd výrubu 5.2 a 5.3. V úsecích velmi pevných a stabilních hornin, tvořených zejména slepenci a neporušenými pískovci, jsou navrženy technologické třídy výrubu 4.2 a 4.1.

Pro kotvení jsou ve třídách 5 a 6 používány kotvy SN, nebo v případě, kdy hrozí zavalování vrtu kotvy IBO. Ve třídách 4 se s výhodou rychlé aktivace a snadného osazování používají hydraulicky upínatelné svorníky. Tloušťka ostění se mění od 250 mm v nejtěžších třídách, až po 100 mm ve třídě 4.1. Tato tloušťka ostění již nemá z hlediska celého tunelu žádnou nosnou funkci a ve statickém výpočtu není uvažována. Zajišťuje pouze integritu horninového prstence a stabilizuje líc výrubu z hlediska bezpečnosti. Z tohoto důvodu je vyztužena jednou sítí KARI Q188. Hlavním nosným prvkem je prokotvený horninový prsteneček. V této třídě se nepoužívají výztužné rámy, což klade zvýšené nároky na raziče a dodržování tvaru výrubu. Zásadní rozdíly ve způsobu zajištění stability výrubu ukazují obr. 18 s třídami výrubu 6.3, 5.2 a 4.1.



Obr. 18 Technologické třídy výrubu 6.3, 5.2 a 4.1
Fig. 18 Excavation support classes 6.3, 5.2 and 4.1

V prostředí flyše se při střídání vrstev slínovců, jílovců a pískovců geotechnické podmínky mnohdy mění v každém záběru. Jde zejména o stupeň rozpukání a orientaci diskontinuit

(obr. 19). V případě ražby v slepencích je situace příznivější. Pro stabilizaci obrysu výrubu jsou proto v dokumentaci navrženy jehly pouze počtem s tím, že jejich poloha po obvodě kaloty bude určena až na základě vyhodnocení skutečně zastižených podmínek. Funkci NRTM inženýra na stavbě provádí firma 3G Consulting Engineers, která zajišťuje trvalý geotechnický dohled, a společně se zástupci firmy HOCHTIEF navrhují zařídování do technologických tříd výrubu. V případě, že dochází k úpravě způsobu zajištění v rámci třídy (rozmístění jehel po obvodu kaloty, změna typu a délky kotev, stabilizační opatření na čelbě atd.), jsou tyto změny posouzeny a odsouhlaseny projektantem realizační dokumentace. Pro rozhodování o způsobu zajištění výrubu a volbu technologické třídy výrubu slouží kromě vizuálního sledování výsledky geotechnického monitoringu, který pro zhotovitele provádí firma ARCADIS. Výsledky měření jsou po vyhodnocení v řádu hodin přístupné všem kompetentním účastníkům výstavby na webovém portále BARAB, který umožňuje zobrazování jak výsledků geotechnických měření, tak pasportizace čelb a jejich fotodokumentace. Práce spojené s vytýčením tunelu, stejně jako měření pro osazování výztužných rámců primárního ostění a měření deformací výrubu provádí na straně zhotovitele firma Angermeier Engineers. Kromě každodenního vyhodnocování geotechnických poměrů a optimálního nastavení způsobu ražby probíhají v 14denním rytmu kontrolní dny monitoringu, na kterých se za účasti zástupců Národní dálniční společnosti vyhodnocuje minulé období a stanovuje očekávaný postup výstavby pro další období. Kromě technologických tříd výrubu uvedených v tabulce byla připravena technologická třída výrubu pro ražbu pod želvou nazápadním portále a ve střední stavební jámě a pro ražbu pod mikropilotovým deštníkem. Mikropilotový deštník byl použit pouze pro ražbu jižní tunelové trouby ze střední stavební jámy směrem na západ, která podcházela vysokotlaké vodovodní potrubí zásobující město Žilina pitnou vodou a nad kterou se nacházelo přeložené koryto potoka i staveništní



Obr. 19 Sklony diskontinuit na čelbě
Fig. 19 Dipping of discontinuities at the excavation face



Obr. 20 Stísněné poměry ve střední stavební jámě
Fig. 20 Constrained conditions in the mid-point of construction pit

komunikace, která slouží pro odvoz rubaniny na deponii. Zahájení ražby jižní tunelové trouby směrem na východ a severní tunelové trouby směrem na západ zajišťovalo místo původně plánovaného mikropilotového deštníku pouze jehlování po obvodu kaloty. Jehly byly v tomto případě osazeny do cementové zálivky, při ražbě tunelu jsou již osazovány na sucho. Ražba severní tunelové trouby ze střední stavební jámy směrem na východ probíhala pod konstrukcí želvy, která byla v době zahájení razičských prací již částečně zasypána. Stísněné poměry se vzdáleností portálů pouhých 12,5 m ukazuje obr. 20. Podél klenby želvy vede pod zásypem staveništní drenáž, která odvádí vydatným přítok podzemní vody zejména na severním boku konstrukce želvy. Díky tomu se podařilo omezit přítoky vody do tunelu. Před zahájením ražby pod želvou a provedením jejího zásypu byla oblast nad profilem kaloty úseku raženého za želvou zpevněna a zatěsněna výplňovou injektáží. Nad profilem kaloty byl navrtán dvojitý deštník, jehož vrty byly vyplněny injektážní směsí a vyztuženy vloženou betonářskou výztuží. Při ražbě v tomto úseku nedocházelo k tvorbě nadvýrubů. I tak je úsek ražený za želvou silně zvodněný a v kalotě jsou pro odvedení vody z masivu navrženy svodnice. Další přítoky se objevily při ražbě opěří jižní tunelové trouby směrem na západ, a to hned u portálu. Ražba hlouběji v hoře probíhá zatím bez větších přítoků a průsaky podzemní vody jsou většinou vázané na puklinový systém horninového masivu. Po prvních záběrech kaloty se ražba na všech čelbách ražených ze střední stavební jámy poměrně rychle dostala do pevného horninového masivu, tvořeného převážně slepenci, a délka záběru se prodloužila z 1 m až na 3 m.

Zvýšená pozornost byla věnována přechodu z ražby pod želvami do úseku raženého NRTM na západním portále. Důvodem byly jednak geotechnické podmínky, jednak skutečnost, že čelo stavební jámy paží štětovnice, které nebyly do masivu beraněny, ale vsazovány do vrtů, které byly následně vyplněny vytěženým materiálem. Ražba kaloty pod želvou poskytla přesné informace o horninovém masivu, který bude nutné stabilizovat, až kalotu nebude chránit konstrukce želvy. V obou tunelových troubách do přístropí zasahovala šterková terasa, resp. vrstva silně zvětralých slínovců a jílovců. Štetová stěna tvořila překážku pro podzemní vodu a nešlo vyloučit zvodnění materiálu v nadloží. Pro další ražbu bylo proto navrženo zajištění nadloží pomocí hnaného pažení ocelovými pažnicemi UNION délky 4 m, které byly lafetou vrtacího vozu zahrnány po obvodu želvy. V místech, kde šterková terasa přecházela do vrstev jílovců, nahradily pažiny jehly osazované do cementové zálivky. Dále bylo nutné zabránit ztrátě stability čelby, která by vedla k nekontrolovatelnému prodloužení záběru. Proto byly do čelby navrtány kotvy IBO délky 8 m a na ně naplocho nasazeny pažiny UNION, které byly na čelbu přitlačeny pomocí matic a desek na IBO kotvách (obr. 21). Průběžný závit IBO kotev umožňoval okamžitě po provedení záběru pomocí pažin aktivně podepírat čelbu kaloty. Navržený technologický postup výstavby umožnil bezpečný průchod rizikovou zónou na kontaktu želvy a úseku raženého NRTM. I když projektová dokumentace předpokládala další ražbu v úseku cca 70 m pod mikropilotovým deštníkem, bylo po vyhodnocení geotechnických poměrů rozhodnuto o nasazení technologické třídy 6.3. Toto rozhodnutí se ukázalo jako správné a ražba v této třídě probíhala díky zkušenému přístupu zhotovitelé firmy TuCon bez větších problémů. Délka záběru v tomto úseku nepřesahovala 1 m. I přes plochu kaloty téměř 60 m² a nízké nadloží se deformace výrubu v úseku za želvou pohybují do 15 mm a s postupem ražby směrem dále do hory se snižují až na prakticky neměřitelné hodnoty. Malé deformační projevy horninového masivu jsou doposud společným jmenovatelem ražeb na všech čelbách a zůstávají daleko za hodnotami varovných stavů.



Obr. 21 Čelba na rozhraní želvy a úseku NRTM na západním portále

Fig. 21 Excavation face at the interface between the “tortoise shell” structure and the NATM-driven section at the western portal

6 Závěr

Stavba tunelu Považský Chlmec probíhá v pestrých geotechnických podmínkách karpatského flyše od silně zvětralých poloh pískovců, slínovců a jílovců na západním portále až po velmi pevné slepence ve středních úsecích tunelu. Zadávací i realizační dokumentace definuje jednu technologickou třídu výrubu pro celý příčný profil tunelu. Skutečně zastižené geotechnické podmínky ukazují, že by bylo vhodné technologické třídy výrubu v projektové dokumentaci definovat pro jednotlivé dílčí výrubu (kalota, opěří, případně dno) a podle situace zastižené na čelbě provést zatřídění do příslušné technologické třídy pro každý dílčí výrub zvlášť. Nejmarkantnější byla v tomto smyslu situace ve střední stavební jámě, kde do kaloty zasahovaly vrstvy pokryvů s ražbou klasifikovanou do technologické třídy výrubu 6.3, zatímco opěří ražené v pevných slepencích již zdaleka nevyžadovalo tak masivní způsob

zajištění, jaký předepisuje třída 6.3.

Díky vstřícnému přístupu zkušených zástupců investora NDS i stavebního dozoru ze sdružení firem EUTECH&ESP&MULLER&API-D3 se daří dosáhnout shody v názoru na způsob zajištění stability výrubu podle geotechnických podmínek zastižených při výstavbě a aplikovat v praxi základní principy NRTM. Návrh na zařídování do technologických tříd i jejich úpravy předkládají zástupci zhotovitele stavby, firmy HOCHTIEF. Při dosud provedených ražbách došlo již k celé řadě úprav způsobu zajištění výrubu, ať se jedná o změnu typu, nebo délky kotev, rozsahu jehlování, vynechání výztužných rámu při ražbě opěří nebo vrstvy výztužných sítí. Napomáhá tomu realizace stavby podle žluté knihy FIDIC. Tento smluvní vztah na rozdíl od červené knihy nevyžaduje zdlouhavé a mnohdy odrazující projednávání změn oproti realizační dokumentaci a umožňuje tak skutečně ekonomickou a bezpečnou ražbu tunelů. Každá úprava prvků zajištění stability výrubu je autorizována báňským projektantem formou jeho oficiálního, písemného vyjádření.

V porovnání s předpoklady zadávací i realizační dokumentace probíhá ražba v příznivějších geotechnických podmínkách. Deformační projevy horninového masivu jsou zlomkem očekávaných hodnot. Zastoupení technologických tříd výrubu zatím směřuje k lehčím třídám s menším počtem vystrojovacích prvků a delším záběrem. Celkové vyhodnocení ražeb bude možné provést až po vyražení celého tunelu.

Unikátní ražba tunelu až z osmi čeleb je náročná na organizaci činností na jednotlivých pracovištích a podmínkou pro dodržení harmonogramu výstavby.

7 Zoznam použitej literatúry

- [1]. Diaľnica D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), súťažné podklady. Bratislava, Národná diaľničná spoločnosť, a. s., 5/2013
- [2]. Diaľnica D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), realizační dokumentace stavby objektů SO401-00, SO403-00 a SO410-00. Praha, IKP Engineers Group, s. r. o.
- [3]. Technicko-kvalitatívne podmienky MDVRR TP 06-1/2006 Podzemné stavby Časť 1: Cyklické razenie, vystrojovacie triedy
- [4]. ÖNORM B-2203 Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm, Teil 1: Zyklischer Vortrieb