TUNEL POVAŽSKÝ CHLMEC NA DÁLNICI D3 ŽILINA (STRÁŽOV) – ŽILINA (BRODNO) OD PROJEKTU K REALIZACI

POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL ON ŽILINA (STRÁŽOV) – ŽILINA (BRODNO) SECTION OF THE D3 MOTORWAY – FROM DESIGN TO REALISATION

LIBOR MAŘÍK

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 a bude předmětem některého z dalších článků. 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 zastiženými geotechnickými podmínkami. Spolu s článkem autorů Petka a Pastrňáka z firmy HOCHTIEF, který vychází rovněž v tomto čísle časopisu Tunel, poskytuje ucelenou informaci o prvním roce projektování a výstavbě tunelu Považský Chlmec.

ABSTRACT

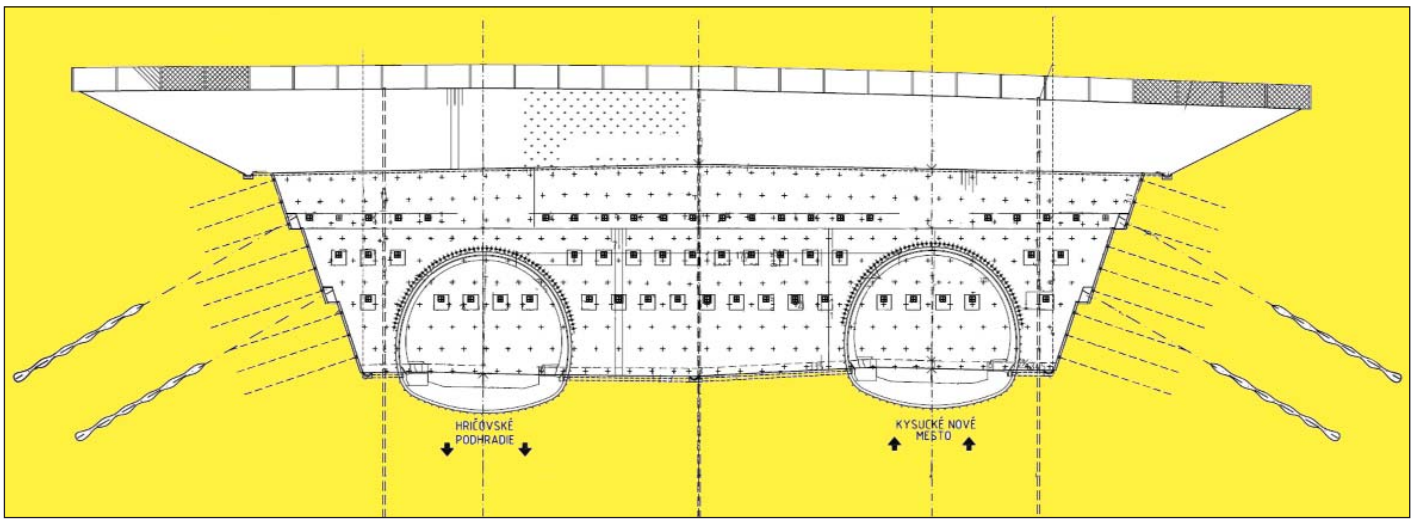
The revenue service of the newly opened metro line section A between Dejvická station and Nemocnice Motol station commenced on Monday the 6th April 2015. The construction works lasted over five years. The moment has therefore come to look back in time at the moments in the realisation history important from the point of view of the general contractor, the construction company of HOCHTIEF CZ (a member of the Sdružení Metro V.A consortium). Interesting facts about some underground structures which are parts of the whole project will be brought to mind. Among them, there is the mined double-track running tunnel in the Vypich – Motol area or the one-vault Bořislavka station excavated under unfavourable geological conditions. Unexpected problems attended the excavation of the ventilation gallery near the Motol hospital, where a collapsed part of a historical underground working was encountered. Not only mined underground structures did fill the pages of technical periodicals. The Nemocnice Motol terminal station, the only station built in an open trench, which is clamped between the Motol slope and the Motol hospital, is also a technically unique object. Part of the tunnel for dead-end tail tracks was not driven according to the original design because of incoherent overburden. It was realised as a cut-and-cover tunnel. The problems of trackwork will also be looked inside.

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 4250 m překonává nejprve směrově rozdělenou mostní estakádou délky 1493 m (levý most) a 1437 m (pravý most) vodní nádrž Hričov. Ta plynule přechází na západním portále do 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 objízdnou 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 2186,5 je raženo 2120,5 m.

INTRODUCTION AND BASIC INFORMATION

The D3 motorway runs in the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section across a territory requiring numerous artificial structures because of the complicated terrain morphology. The alignment at the aggregated length of 4250m first overcomes the Hričov dam reservoir on a dual carriageway viaduct (the left-hand and right-hand bridges 1493m and 1437m long, respectively). The route fluently passes at the western portal into the Považský Chlmec tunnel. It emerges from it after more than 2 kilometres and passes to the dual carriageway bridge over the Kysuca River (the left-hand and right-hand bridges 410m and 402m long, respectively). The construction operations commenced in June 2014 and the deadline planned for its opening to traffic is June 2017. The public call for bids was issued and the realisation proceeds in the "design and build" regime, with the contractual conditions defined according to the FIDIC Yellow Book. It allows the designer and contractor to optimise the technical solution and construction procedure already in the tendering phase, within the rules specified in the tender documents. The tunnel is designed as a twin-tube structure, category T2-8, with the kerb-to-kerb width of 8m and the clearance profile height of 4.8m. Bidirectional traffic tunnel operation is not counted with. In the case of closing one tunnel tube, traffic will be diverted to a bypass route. This system has mainly an impact on the tunnel equipment. The tunnel is driven throughout its length using the NATM, with the so-called "horizontal" excavation sequence



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

V severní tunelové troubě celkové délky 2249 m je raženo 2200 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.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Území v trase tunelu je součástí pieninského bradlového pásma. Severní a jižní část koridoru tunelu je tvořena flyšovým souvrstvím vápnitých 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-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, jíl štěrkovitý, štěrk jílovitý a štěrk 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

(top heading, bench and invert). The cut-and-cover sections are designed not only for the areas of the eastern and western portals, but also for the mid-point construction pit, where the quality of ground mass and the overburden height do not allow for driving the tunnel. Of the total length of the southern tunnel tube of 2186.5m, 2120.5m are driven by mining. In the northern tunnel tube with the total length of 2249m, 2200m long section is driven by mining. The excavated cross-sectional area ranges from 83m^2 in the case of the tunnel on footings up to 105m^2 in the case of the tunnel with invert. It changes with the varying thickness of the primary lining, the magnitude of overcutting the theoretical excavation and the anticipated deformation, construction tolerance and thickness of the waterproofing series of layers. The overburden height reaches up to 125m. Nevertheless, the tunnel route passes even through an area where, on the contrary, small overburden height leads to the cover-and-cut method known as the "tortoise shell" method. At the western portal, this construction method is applied to a 37.5m and 50m long sections of the southern and northern tunnel tubes, respectively. It is used in the mid-point excavation pit for the beginning of the excavation in the northern tunnel tube toward the eastern portal. The section driven using the "tortoise shell" method is 34.5m long. In the mid-point excavation pit, this method is applied to the beginning of the excavation in the northern tunnel tube toward the eastern portal. The length of the section driven under the "tortoise shell" structure amounts to 34.5m. Among special features of the Považský Chlmec tunnel, there is certainly the fact that the tight construction programme requires the work at up to eight headings: two from the western portal, two from the eastern portal and four from the space of the mid-point construction pit. Taking into consideration the tunnel length, this fact is undoubtedly a rarity. The area of Žilina in which the tunnel is located lies in a region where the occurrence of earthquakes is possible. For that reason both temporary and permanent structures of the tunnel and construction pits are designed even for seismic effects. HOCHTIEF is the contractor for the excavation of the tunnel from the mid-point construction pit, while TuCon is its sub-contractor for driving the tunnel from the western portal.

ENGINEERING GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONDITIONS

The area along the tunnel route is part of the Pieniny Klippen Belt. The northern and southern parts of the tunnel corridor is formed by flysch series of calcareous claystone and sandstone layers. Exotic conglomerates and sandstone are located in the upper part of this series, prevailing over the claystone and marlstone. The main component of the sandstone is quartz (20–60%), fragments of

průzkumu ani jeden vzorek odebrané vody nevykazoval agresivitu na betonové konstrukce.

V rámci inženýrskogeologického průzkumu byl horninový masiv rozdělen do 4 kvazihomogenních 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.

SPOLUPRÁCE PŘI PŘÍPRAVĚ NABÍDKY V REŽIMU „NAVRHNI A POSTAV"

Soutěž na stavbu dálnice D3 v úseku Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) byla vypsána v režimu žluté knihy FIDIC. Vzhledem k tomu, že úsek tunelu tvoří 50 % trasy a jeho cena tvořila významnou část z celkové nabídkové ceny, začala úzká spolupráce mezi firmou HOCHTIEF CZ a IKP Consulting Engineers již ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele. Na rozdíl od zadávací dokumentace podle červené knihy FIDIC, kdy je technické řešení závazné, je v případě žluté knihy FIDIC úloha projektanta a konzultanta nezastupitelná. Druhým konzultantem firmy HOCHTIEF byli kolegové z firmy 3G Consulting Engineers, jejichž úlohou byla vlastní interpretace výsledků inženýrskogeologického průzkumu a v návaznosti na zjištěné informace optimalizace technologických tříd výrubu. Úlohou firmy IKP Consulting Engineers byla optimalizace rozsahu a způsobu zajištění stavebních jam, rozsahu hloubených a ražených úseků tunelu, optimalizace tvaru příčného řezu tunelu, dimenzí definitivního ostění, prognóza nasazení nevyztuženého definitivního ostění, optimalizace blokového schématu a bezpečnostních prvků (počet a poloha tunelových propojek, nouzových zálivů, výklenků požárního hydrantu, skříní SOS, výklenků čistění drenáže atd.). Pro určení úseků definitivního ostění prováděného se spodní klenbou, nebo na patkách sloužily výsledky zpracované firmou 3G Consulting Engineers. Na základě prognózy rozdělení ražené části tunelu do technologických tříd výrubu byla vytvořena prognóza úseků tunelu s různým stupněm vyztužení definitivního ostění, případně ostění bez výztuže. Vzhledem k času na zpracování nabídky i omezeným nákladům na konzultační činnost vycházel projektant ze zkušeností získaných při projektování tunelů v obdobných geotechnických podmínkách. V případě tunelu Považský Chlmec se jednalo i o zkušenosti získané při projektování realizační dokumentace dálničního tunelu Branisko obdobných rozměrů, který byl rovněž z části ražen v prostředí flyše.

Vzhledem k avizovaným geotechnickým podmínkám bylo nutné stejnou pozornost, jako raženým úsekům tunelu věnovat i stavebním jamám. V oblasti portálů zastihly průzkumné vrty polohy pískovců, jílovců a slepenců různého stupně zvětrání. Poměrně hluboko zasahovala i vrstva pokryvných útvarů. V oblasti střední jámy situaci komplikovala přítomnost svahových sutí a skutečnost, že údolím, do kterého je střední jáma situována, protéká potok. Přeložkou jeho koryta nebylo ještě garantováno, že v prostředí propustných sedimentů neproudí podzemní voda, která bude mít negativní dopad na stabilitu svahů stavební jámy. Obecně proto byla navržena taková technická řešení, která byla méně citlivá na změnu geotechnických parametrů horninového prostředí a přítomnost podzemní vody. Snahou projektanta bylo minimalizovat hloubku a rozsah stavebních jam i čas potřebný pro výstavbu definitivních konstrukcí a provedení zpětných zásypů.

Veškeré návrhy technického řešení byly konzultovány se zástupci zhotovitele z hlediska nákladů, času potřebného pro provádění, logistiky dopravy materiálu i nasazení strojních sestav a personálu. Výsledkem byl hrubý výkaz výměr a návrh technologického postupu výstavby, který sloužil zhotoviteli pro stanovení ceny a doby výstavby. Na zpracování nabídky se podíleli i kolegové z německé

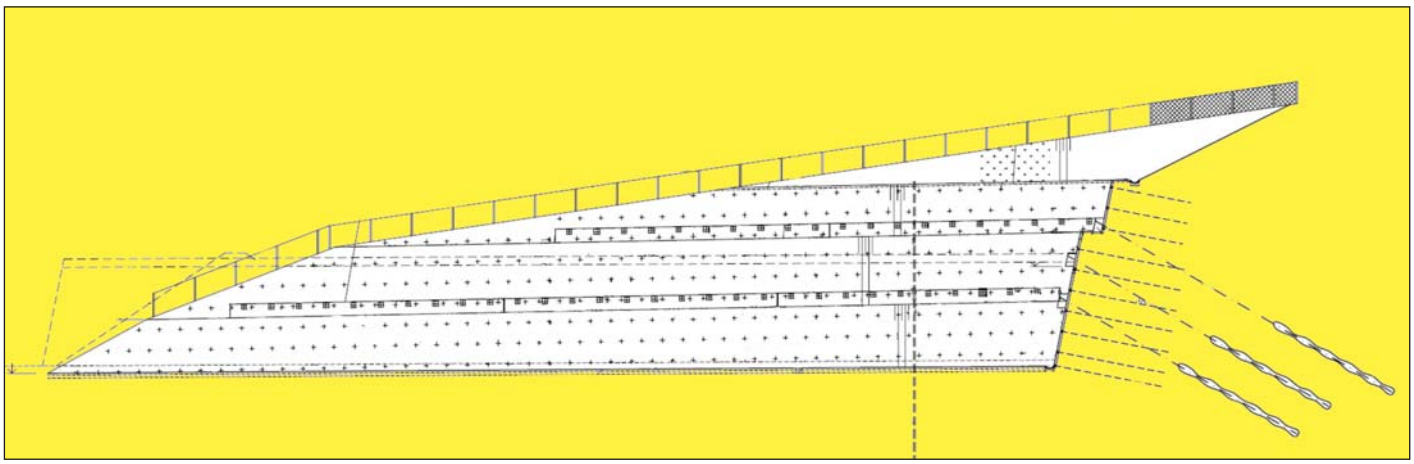
carbonate rock (5–56%), granitoide and metamorphosed rock (4–29%) and fragments of volcanic rock (5%). The fragments are cemented by carbonate cement (3–30%). From the aspect of tectonics, the area lies at the eastern edge of the north–south oriented parallel faults of the Žilina system. The cover is formed by a deluvial complex of Quaternary sediments developed on the slopes of the valley, thinner layers of which extend even to the peak parts of the area above the tunnel. It consists of medium to low plasticity clay and stony-clayey debris. Terrace sediments 1m to 7m thick are found under these layers in the western portal area and on the slope above the western portal. They consist of sands with the admixture of fine-grained soil, gravelly clay, clayey gravel and gravel with the admixture of fine-grained soil. As far as the levels are concerned, these terrace sediments extend into the tunnel top heading in the area of the western portal and complicate the top heading stability.

The water table was identified only locally at the depth ranging from 4m to 15m, on the base of terrace sediments, or in the underlying layers of the Mesozoic complex. When the hydrogeological survey was being carried out, not a single sample of water exhibited aggression to concrete structures.

The ground mass was divided within the framework of the engineering geological survey into 4 quasi-homogeneous blocks for mined tunnel sections and 3 blocks for the cut-and-cover portal sections and the mid-point construction pit. The anticipated behaviour of the ground mass during the tunnel excavation or the excavation of pits was described separately for each block, risk factors were determined and recommendations were described regarding securing the tunnel excavation stability, respectively the stability of slopes of construction pits, and the safety at work. These recommendations are not binding for the work and the contractor can prepare their own interpretation of the results of the survey which is part of the tender documents. In such a case the contractor take the geotechnical risk on themselves.

COLLABORATION DURING THE PREPARATION OF THE TENDER IN THE "DESIGN – BUILD" REGIME

The contract for the construction of the D3 motorway section between Žilina (Strážov) and Žilina (Brodno) went out to tender in the FIDIC Yellow Book regime. With respect to the fact that the tunnelled section forms 50% of the alignment and its cost forms a significant part of the overall tender cost, close cooperation between HOCHTIEF CZ and IKP Consulting Engineers started already in the phase of the preparation of the bid for the selection of the contractor. In contrast with the preparation of the final design according to the FIDIC Red Book, where the technical solution is binding, the role of the designer and consultant is non-substitutable in the case of the FIDIC Yellow Book. The other consultants for HOCHTIEF CZ were colleagues from 3G Consulting Engineers. Their task was to interpret the results of the engineering geological survey and, building on the obtained information, to optimise the excavation support classes. The task of IKP Consulting Engineers was to optimise the scope and method of the support of construction pits, the scope of cut-and-cover tunnel sections, the tunnel cross-section and the final lining dimensions, to forecast the application of the unreinforced final lining, to optimise the block diagram and safety elements (the number and location of cross passages, emergency stopping lay-bys, fire hydrant niches, SOS boxes, drainage cleaning recesses etc.). Results prepared by 3G Consulting Engineers served for the determination of the final lining sections, whether with invert or on footings. A prognosis of tunnel sections with various final lining reinforcement contents or an unreinforced final lining was developed on the basis of the prognosis of the division of the mined tunnel part into excavation support classes. With respect to the time available for the preparation of the tender and the limited expenditures for consultancy, the



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

centrály firmy HOCHTIEF. Příprava nabídky byla výzvou i zajímavou týmovou prací se společným cílem optimálního návrhu technicky náročného díla.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ZÁPADNÍHO PORTÁLU

Svahy stavební jámy byly stabilizovány vrstvou stříkaného betonu o minimální tloušťce 150 mm se dvěma vrstvami sítí KARI100x100x6 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 prokotvena 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 6@Ls 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 6@Ls 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 6@Ls 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 6@Ls 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 6@Ls 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 převázku o rozměrech 600x1000 mm. Pro zahájení ražby ze stavební jámy zajišťoval přístropí nad každým tunelem mikropilotový deštník z 60 ks mikropilot @76/10 mm délky 16 m vrtaných s osovou roztečí 300 mm. Způsob zajištění stavební jámy a sklony portálového svahu ukazuje pohled na severní svah jámy na obr. 2.

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 velkoprůměrových 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.

Projektování konstrukce naráželo na četná úskalí. Jako největší se ukázal problém s volbou matematického modelu, který by výstižně

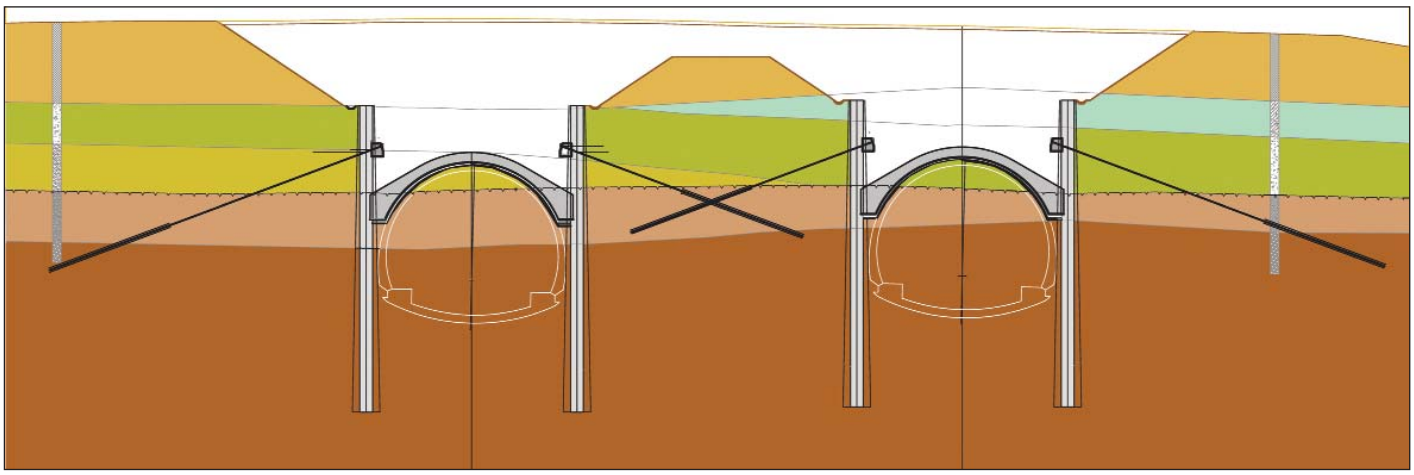
designer built on the experience gathered in designing tunnels in similar geotechnical conditions. In the case of the Považský Chlmec tunnel, it was the experience gained during the work on the design of means and methods for the Branisko motorway tunnel with similar dimensions, which was also partially driven through a flysch environment.

With respect to the predicted geotechnical conditions, it was necessary to pay the same attention as to the mined tunnel sections also to the construction pits. Boreholes in the portal areas encountered layers of sand, claystone and conglomerates with various degrees of weathering. Even the cover layer extended relatively deep. In the mid-point excavation pit area, the situation was complicated by the presence of slope debris and the fact that a stream flows along the valley to which the mid-point pit is designed. The diversion of the stream did not guarantee that groundwater did not flow through the environment formed by permeable sediments. It would have a negative impact on the stability of slopes of the construction pit. In general, such technical solutions were proposed which were less sensitive to changes in geotechnical parameters of the ground environment and the presence of groundwater. Designer's effort was to minimise the depth and extent of construction pits and the time required for the construction of final structures and the execution of backfills.

All proposals for the technical solution were consulted with contractor's representatives regarding the costs, the time required for the works, the logistics of transport of materials and the deployment of mechanical equipment sets and personnel. The consultancy resulted in a gross bill of quantities and a proposal on the construction technological procedure, which was used by the contractor for the determination of the cost and duration of the works. Colleagues from the Germany-based HOCHTIEF head office also participated in the tender preparation. The preparation of the tender was a challenge and interesting team work with a common objective to develop an optimum design for such the technically demanding project.

TECHNICAL SOLUTION TO THE WESTERN PORTAL

The construction pit slopes were stabilised by a shotcrete layer with the minimum thickness of 150mm, with two layers of KARI welded mesh 100x100x6mm. SN anchors 32mm in diameter and 8m long were used in the lower parts of the bedrock, in a diamond pattern, staggering at 1.5x1.5m. The cover layer was stabilised by 6m long, 32mm in diameter SN anchors, installed in a diamond pattern staggering at 1.5x1.5m. The construction pit was further anchored at two levels by pre-tensioned cable anchors. The first anchoring level 10m above bottom of the pit consisted of 29 pre-tensioned anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 22m long, with the roots 10m long. The second anchoring level located 5m above the pit



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

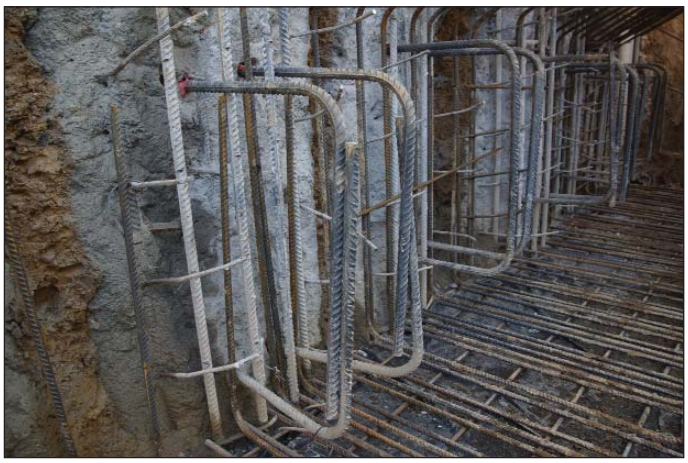
a věrohodně dokázal zohlednit interakci kotvené, pilotové stěny a konstrukce želvy ve všech fázích výstavby, a to se zohledněním všech z toho plynoucích zatěžovacích stavů. Propojením výztuže klenby želvy a pilot vznikl styčník, který byl schopen přenášet vnitřní síly mezi oběma konstrukcemi. Citlivostní 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 kombinaci 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 vždy dvě řady velkoprůměrových 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 dovrtat, vše proběhlo podle předpokladů

bottom consisted of 44 pre-tensioned cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 20m long, with the roots 10m long. The portal slope was stabilised, in addition to the above described layer of unreinforced shotcrete and SN anchors, by three tiers of pre-tensioned cable anchors. The first anchoring level consisted of cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 25m long, with the roots 10m long. The second level 7m above the pit bottom consisted of 15 pre-tensioned cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 22m long, with the roots 10m long and the third anchoring level 5.5m above the bottom of the pit consisted of 19 pre-tensioned anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 20m long, with the roots 10m long. All of the 129 cable anchors at the aggregated length of 2778m were designed as permanent structures and were pre-tensioned through 600x100mm reinforced concrete walers. Prior to the commencement of tunnelling from the construction pit, the top heading of each tunnel tube was secured by canopy tube pre-support consisting of 60 tubes 76/10mm, 16m long, drilled at 300mm spacing. The system of stabilising the construction pit and the slopes of the portal slope are shown in the view of the northern slope of the pit in Fig. 2.

The object of the technical solution to the western portal is referred to as unbinding in the tender documents. For that reason, the representatives of HOCHTIEF, after consulting the designer already in the tendering stage, decided to modify the technical solution with the aim of reducing the volume of earthmoving, reducing the volume of activities with technologically enforced breaks (casting of concrete walers, the installation of three tiers of cable anchors) and reducing the length of the cut-and-cover section to allow the quick commencement of the tunnel excavation. In the process of designing for the stabilisation of the western portal, the designer built on the technical solution which had been earlier applied by HOCHTIEF to the Euerwang tunnel, Germany. The solution lied in the "tortoise shell" structure, clamped between two rows of large-diameter piles securing the stability of the construction pit and the sides of the tunnel. With respect to the terrain relief, the lengths of the sections excavated for the northern and southern tunnel tubes under the "tortoise shell" structure are different. The section in the southern tunnel tube amounts to 37.5m, whilst its length in the northern tunnel tube amounts to 50m. The cross-sections in the locations of the two "tortoise shell" structures are presented in Fig. 3.

Numerous pitfalls impinged on the work on the structure design. The biggest problem turned out to be with the selection of the mathematical model which would be appositely and plausibly able to take into consideration the interaction between the anchored pile wall and the "tortoise shell" structure in all construction phases, taking into account all loading stages following from it. A joint capable of transmitting inner forces between the reinforcement of the "tortoise shell" structure and the reinforcement of the piles, which originate by tying the two structures together. The sensitivity



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

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 velkoprůměrovými 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 (polystyrenem). 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 odvrtáno 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 3228 m pilot a 78 předpjatých kotev v délce 1326 m kotvených přes železobetonovou převázku o rozměrech 700x800 mm. Čelo stavební jámy pro tvarování želvy stabilizovala štětová stěna kotvená v konečném řešení ve dvou úrovních předpjatými lanovými kotvami. Stěna stejné konstrukce zajišťovala stabilitu stavební jámy na rozhraní budoucího hloubeného a raženého tunelu (obr. 5) Po odvrtání pilot zahájila firma EUROVIA hloubení stavební jámy mezi pilotovými stěnami na úroveň převázky lanových kotev. Na této úrovni došlo k první technologické pauze spojené s vytvrdnutím betonu převázky 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 analysis showed that the values of inner forces in the "tortoise shell" vault and in the joint vary within the order of tens of per cent, depending on the deformation of piles, which is hard to predict. The mutual influence of the two relatively rigid structures had to be assessed from the aspect of the possible behaviour of the structures during the course of the construction. Among the factors influencing the analysis, there were not only geotechnical parameters and material characteristics of structures, but also the exact procedure of the execution affected by the human factor, which is difficult to determine. The analysis was carried out in PLAXIS and SCIA Engineer programs, with neither of them capable of solving the particular problems comprehensively. PLAXIS software was used for modelling construction phases, inclusive of the tunnel excavation under the "tortoise shell" structure. The FEM model took into account the interaction between the structure and the ground massif. From the aspect of construction phases, it was the excavation of the construction pit down to the level for drilling for the piles, drilling and casting of concrete piles, excavating the construction pit down to the level of the waler for pre-tensioning the cable anchors, excavating the construction pit with the bottom shaped to the form of the bed for casting the concrete "tortoise shell" structure, bracing the piles by the "tortoise shell" vault, excavating the tunnel top heading and bench and backfilling the pit up to the level of the top of the piles. The calculation was based on the model created in the PLAXIS software. Subsequently, such boundary conditions were set in the SCIA Engineer software which gave a true picture of the deformational and forces-related behaviour in the particular loading stage as modelled in the PLAXIS software. In this way both models were calibrated. The structure was subsequently subjected to other loading by a non-linear combination of loading stages which could not be simulated in the PLAXIS software using the SCIA Engineer software, mainly the non-linear loading by temperature both in winter time and in summer time, concrete shrinkage and creep and seismic effects of earthquakes on the region of Žilina. The loads induced by the backfill were broken down into vertical and horizontal components in the model. These components entered the combinations of loading stages as independent loading cases so that analysing their most unfavourable effect was possible from the aspect of the load-carrying capacity of the whole piles-tortoise shell system. The values of inner forces calculated in the SCIA Engineer software became input values for designing the dimensions of structures in the FINEBETON software.

The work on the excavation pit for the western portal started in November 2014. A shallow, sloped construction pit was excavated first. Always two rows of large-diameter piles with the diameter of 800mm and the lengths of 19m, 18m and 16m were carried out from the bottom of this pit. The piles bored above the "tortoise



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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

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 jílovci 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 opěří a ražba proto postupovala díky dobré rozpojitelnosti 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 velkoprůměrových pilot. Podstříkání patek želvy zároveň sloužilo jako podpůrný prvek nutný pro zásyp želvy (obr. 10). Stavba postupovala bez větších technických komplikací a v době vydání časopisu jsou již obě želvy na západním portále zasypány (obr. 11), tunel pod nimi vyražen a ražba pokračuje dále v obou troubách pomocí NRTM s horizontálním členěním výrubu směrem do střední stavební jámy.



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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

shell" structure at 1m spacing secured the stability of the sides of the construction pit and stabilised the tunnel sides under the "tortoise shell". Even though the contractor in the beginning feared weather it would be possible to reach the required boring depth and the client required an alternative solution in case the boring could not be achieved owing to the rock strength, everything worked out in compliance with the design. The pile wall constructed in this way was stabilised by one tier of 18 or 16m long pre-tensioned cable anchors with roots 8m long, installed at 2m spacing. The second level of the pile wall support was provided by the "tortoise shell" vault, which acted as bracing resisting horizontal forces. The "tortoise shell" structure was interconnected with the large-diameter piles by special anchoring steel pieces glued into concrete of the piles. "Pockets" were designed for the reinforcing cages of the piles for the creation of a niche to be used for the interconnection between the piles and the "tortoise shell" structure. The pockets were filled with easily removable material (polystyrene). Where the correct fixing of the insert to the reinforcement cage failed, the pocket had to be subsequently broken out with a pick hammer. The pocket in the pile wall with anchoring steel pieces for connecting the "tortoise shell" to piles is presented in Fig. 4. The total of 18 piles 16m long, 12 piles 18m long and 70 piles 1119m long were carried out at the northern tunnel. At the southern tunnel tube, 12 piles 16m long, 14 piles 18m long and 50 piles 19m long were constructed. In total, 3228m of piles and 78 pre-tensioned anchors at the aggregated length of 1326m, installed through reinforced concrete walers, support the 87.5m long section of the tunnel excavated under the "tortoise shell" vault. The front end of the construction pit in which the "tortoise shell" ground support was to be shaped, was stabilised by a soldier beam and lagging wall, which was in the final solution anchored by two tiers of pre-tensioned cable anchors. A wall of the same design provided the stability of the construction pit at the interface between the future cut-and-cover tunnel and the mined tunnel (see Fig. 5). After the completion of the piles, EUROVIA started to excavate the construction pit between the pile walls to the level the waler for the cable anchors. The first technological break required for hardening of the concrete of the waler and the roots of the cable anchors was necessary at this level. This construction phase is presented in Fig. 6. Subsequently the construction pit was excavated down to the level of its bottom in the shape of the "tortoise shell". Owing to the use of suitable mechanical equipment and the quality of the ground mass, the contractor managed to achieve the required shape without substantial deviations from the designed shape. The ground body substituting the formwork for the "tortoise shell" consisted of superficial deposits and heavily weathered marlstone and claystone located at their base. The earthmoving operations associated with shaping of the construction pit bottom into the vault are presented in Fig. 7. Smaller deviations were filled by the contractor with lean concrete, which was struck off with wooden templates, as shown in Fig. 8. Concrete reinforcement was installed in blocks corresponding to the concrete casting blocks, on the treated surface of the construction pit bottom having the shape of the "tortoise shell" vault. A separation membrane and felt were spread on it and the "shell" concrete was cast on them in the blocks (see Fig. 9). With respect to the tight construction schedule, the contractor used a higher than prescribed by the design grade of concrete for the blocks closer to the portal so that concrete achieved the strength required for the commencement of the excavation under the "tortoise shell" earlier. It was a milestone in the tunnel construction contract. The failure to meet it would have meant a penalty.

The design solution allowed for excavating under the "tortoise shell" structure without limiting the excavation round length both in the top heading and the bench. Also owing to the good cuttability for a tunnel excavator, the excavation advanced very quickly. After the completion of the excavation of the top heading and bench in the section under the "tortoise shell", the shape of the



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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

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 fluviální 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 pokryvů 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 pokryvných útvarů. Hladina podzemní vody byla zastižena v pokryvných 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 jamy 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. Stavební jáma hloubky 17 m až 21 m byla navržena s jednotným sklonem svahů 3:1 až k povrchu území, portálové



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. 9 Separační vrstvy a montáž výztuže želvy
Fig. 9 Separation layers and the placement of the "tortoise shell" concrete reinforcement

mined tunnel on the sides was reached by means of primary lining shotcrete, which was applied to the surface of the large-diameter pile wall. The application of shotcrete under the footings of the "tortoise shell" at the same time served as a support element necessary for the backfill of the "tortoise shell" structure (see Fig. 10). The works proceeded without substantial technical complications and, the backfill of both "tortoise shell" structures at the western portal was completed (see Fig. 11), the excavation of the tunnel under them was finished at the time of publishing the journal and the tunnel excavation proceeds in both tunnel tubes using the NATM with the excavation sequence consisting of top heading, bench and invert (the so-called horizontal sequence), heading toward the mid-point construction pit.

MID-POINT CONSTRUCTION PIT

The insufficient overburden height roughly in the middle of the tunnel route necessitated opening of the third construction pit, which is located in a valley situated to a continuous north-east – south-west heading fault. The bottom of the significantly asymmetrically shaped valley is filled with fluvial sediments of mountain streams. The surface of the alluvion is formed by clay with sharp-edged fragments of rock and boulders from the decomposed conglomerates forming rock outcrops above the valley. Gravelly soils of a variable degree of the loam content and variable thickness are found under this layer. Layers of coarse-grained conglomerates with a high content of worked cobbles to boulders with hard carbonate cement lie on the cover base. The eastern klippe slope steeply descends to the valley and talus cones can be seen at its foot. The western slope is rather slow, with the thickness of the cover small. The water table was encountered in the cover at the depth under the terrain ranging from 2m to 4m. A nameless creek forming a right-bank tributary of the Váh River flows along the valley. Its yield is closely connected with climatic conditions in the particular locality. With respect to the springs springing at the feet of the surrounding mountains, the stream does not dry up even in summer months. A forest road leads along the stream.

It was necessary before the commencement of the work on the excavation of the construction pit to relocate both the road and the bed of the stream. In the tender documents, the construction pit was designed with slopes and the stability of the slopes was secured by SN-type anchors (bolts) inserted into boreholes filled with cementitious grout and pre-tensioned cable anchors anchored through reinforced concrete walers. The local stability of slopes was provided by a layer of shotcrete with KARI mesh. Uniform 3:1 slopes up to the terrain surface were designed for the 17–21m deep construction pit; the portal slopes were designed at 5:1 gradient up to



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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

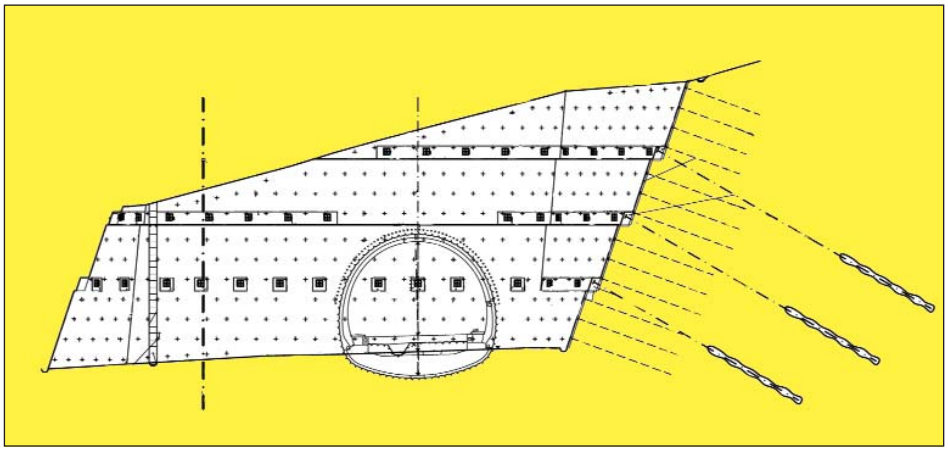
svahy byly navrženy ve sklonu 5:1 až na úroveň terénu. Způsob původního zajištění je patrný z obr. 12, který znázorňuje západní portálový svah severní tunelové trouby. Svahy byly členěny na etáže s lavičkami. V patě každé etáže byla navržena kotevní úroveň lanových předpjatých kotev 6 ∅ Ls15,5 v délkách 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 m^2, výztuž stříkaného betonu ze sítí 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 troubách nouzové zálivy a mezi nimi průjezdná tunelová propojka.

Ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele došlo v souvislosti s úpravou blokového schéma definitivního ostění a redukci počtu bezpečnostních stavebních úprav i k redukci počtu nouzových zálivů. Zmenšením počtu nouzových zálivů z 6 na 4 byly oba zálivy 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 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.

the terrain surface. The original system of stabilisation is obvious from Fig. 12, demonstrating the western portal slope of the northern tunnel tube. The slopes were divided into stages with berms. An anchoring level of 6 pre-tensioned cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 16m, 18m, 22m and 24m, spaced at 3m, was designed for the foot of each stage. In total, 219 pre-tensioned cable anchors at the aggregated length of 4266m, shotcrete in the total area of 4590m^2, concrete reinforcement with KARI mesh at the total weight of 51.6 tonnes and 1874 SN anchors 6m and 8m long at the aggregated length of 14.244m were designed. The emergency stopping lay-bys in both tunnel tubes and a cross passage passable for vehicles between them were situated into the construction pit.

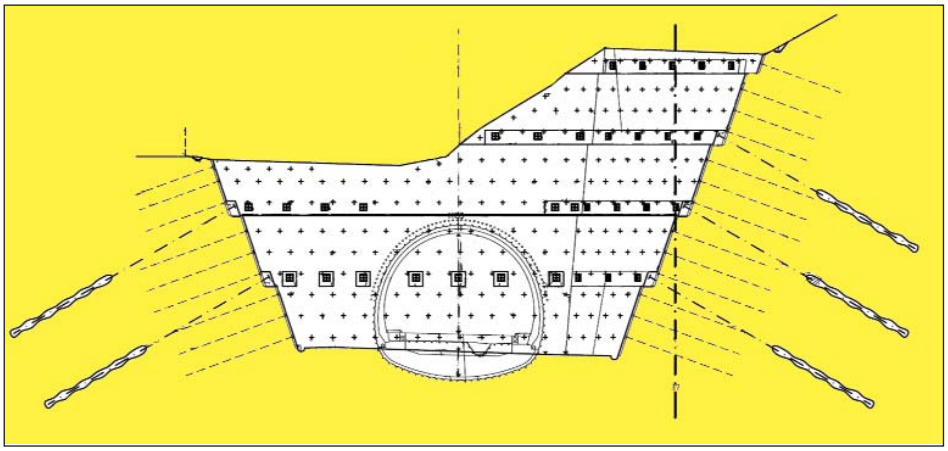
The block diagram for the final lining was modified, the number of the safety construction elements was reduced and the number of emergency stopping lay-bys was reduced in the phase of developing the final design. The two emergency stopping lay-bys were removed from the mid-point construction pit by reducing the number of lay-bys from 6 to 4. The objective of the new technical solution within the framework of tendering was to reduce the volume of earthmoving, reduce the ground plan dimensions of the construction pit and, with respect to the not fully favourable geotechnical conditions, to reduce the duration of opening the pit. For that reason the length of the construction pit in the direction of the tunnel tubes was reduced and its width was also reduced owing to the cancellation of the emergency stopping lay-bys; the "tortoise shell" structure design was returned to the location of anticipated increased groundwater inflows. This solution allowed for backfilling the part of the construction pit above the "tortoise shell" structure even earlier than the other parts of the pit. As a result, the risk of unexpected situations was minimised. With respect to the reduced land acquisition area, it was not always possible to reduce the gradients of slopes and the designer proceeded to the application of anchored soldier pile and lagging walls in the upper parts of the construction pit. Figures 13 and 14 compare the original and new technical solutions to the eastern portal of the northern tunnel tube, where the originally designed sloped construction pit was replaced with the soldier pile and lagging wall and the "tortoise shell" structure.

Trial holes were dug using mechanical equipment available before the commencement of earthmoving operations. They confirmed the presence of debris mixed with loam and supported the rightness of the decision to give up the idea of the construction pit sloped at 3:1 respectively up to 5:1. The construction operations started



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

Před zahájením zemních prací byly dostupnou mechanizací provedeny kopané sondy, které potvrdily přítomnost zahlíněných 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 převázek pro lanové kotvy. Vyhodnocení vrtů pro zápory 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 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 převázkami, 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. 13 Původní řešení východního portálu severní tunelové trouby
Fig. 13 Original solution to the eastern portal of the northern tunnel tube

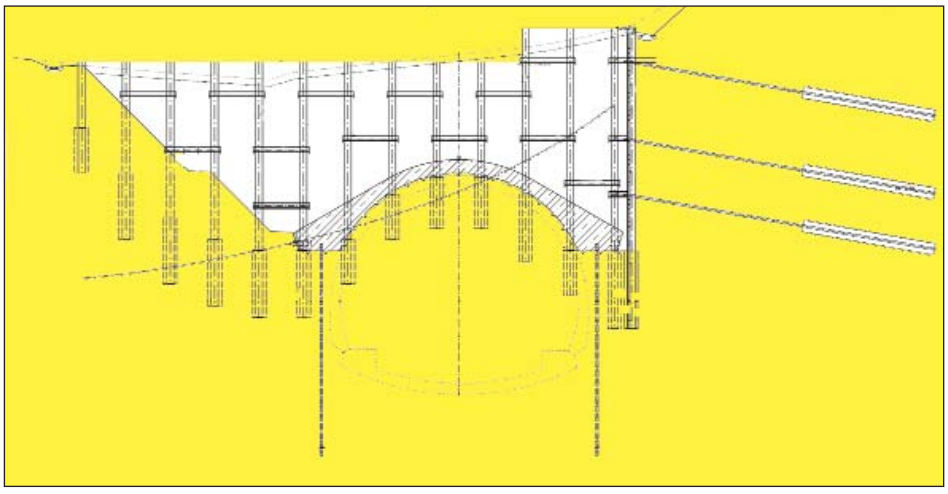
TECHNOLOGICKÉ TŘÍDY VÝRUBU A RAŽBA TUNELU

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

by drilling for soldier beams. The drilling depth was built on the prognosis of the cover base level determined on the basis of the engineering geological survey which was part of the tender documents. Fig. 15 documents the initial phases of the drilling for soldier piles. It shows geological conditions at the eastern portal slope of the northern tunnel tube. With respect to the variable horizon of sandstone and conglomerates, the drilling depth, according to contractor's information, had to be frequently modified and the designer had to quickly respond to this reality by changing the level of the walers for cable anchors. The assessment of the boreholes for soldier piles around the circumference of the construction pit provided a relatively exact idea of the interface between the cover and bedrock and the quality of the bedrock. The designer used it for more accurate designing for the "tortoise shell" structure and the commencement of tunnelling at all four portals in the construction pit. In contrast with the western portal, the footings of the "tortoise shell" structure in the mid-point construction pit lie on unmade ground reinforced with vertically bored micropiles. With respect to shifting the term for commencing the tunnel excavation to the winter season, the originally proposed reinforced concrete collars above the top heading profile were replaced with anchored steel walers, holding the toes of soldier beams above the tunnel. The stabilisation of slopes, the "tortoise shell" construction phases and the constrained conditions in the construction pit are presented in Fig. 16. The problems of the tunnel excavation are described in the following chapter.

EXCAVATION SUPPORT CLASSES AND THE TUNNEL EXCAVATION

Excavation support classes and their distribution along the routes of both tunnel tubes were designed in the tender documents for ensuring the stability of the excavated opening on the basis of the interpretation of the engineering geological survey results. In the phase of preparing the tender design, 3D Consulting Engineers carried out new interpretation of geotechnical conditions and modification of particular elements of the excavation support within the framework of the consultancy for HOCHTIEF. The design of means and methods carried out by IKP Engineers Group respected the number of excavation support classes and their distribution along the route of the tunnels contained in the tender documents, but took into account the reduction of the excavation support elements according 3G



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



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. 15 Geologické poměry na východním svahu údolí
Fig. 15 Geological conditions on the eastern slope of the valley

úseku stavby. Grafické znázornění zastoupení jednotlivých tříd výrubu po délce tunelových trub ukazuje obr. 17.

Do nejtěžších geotechnických podmínek byly navrženy technologické třídy výrubu 6.3, 6.2 a 6.1. 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 osazovaní 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 prstenec. V této třídě se nepoužívají výztužné rámy, což

Consulting Engineers' proposal. The technological procedure of the construction was consulted in the phase of the preparation of the design of means and methods with representatives of HOCHTIEF, which is the guarantor of the tunnelled section of the project. The graphical representation of individual excavation support classes along the length of the tunnel tubes is shown in Fig. 17.

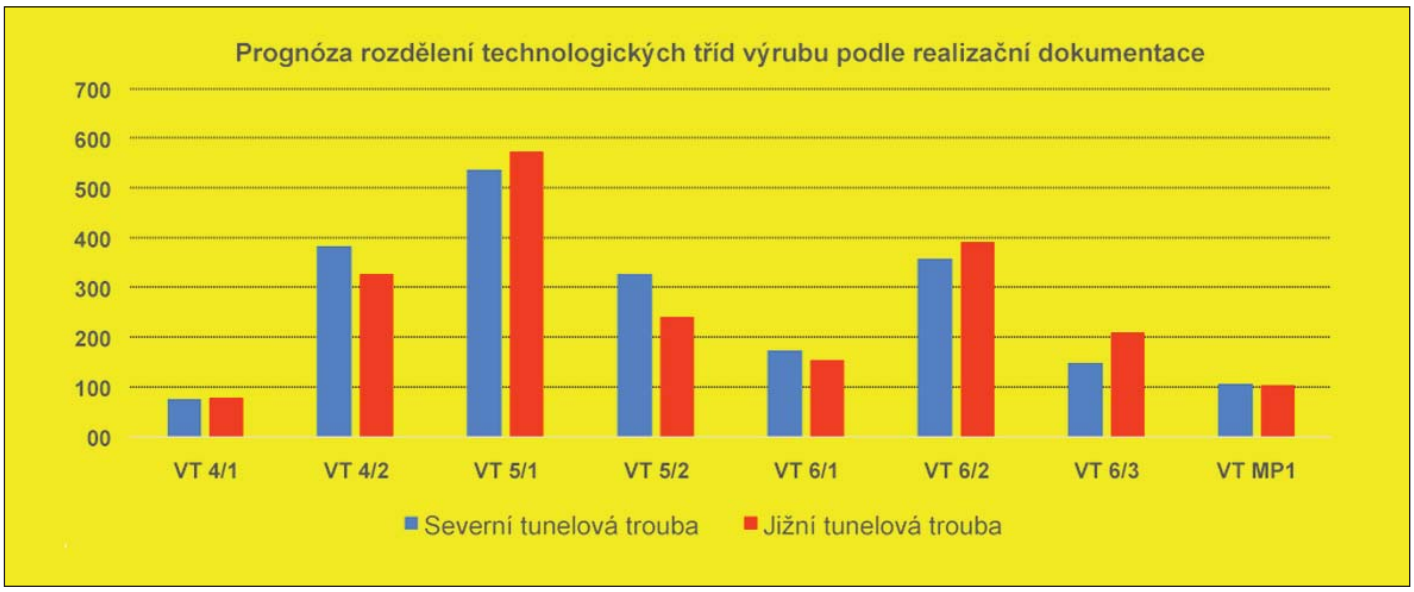
Excavation support classes 6.3, 6.2 and 6.1 were designed for the most difficult conditions. These classes are designed for pre-portal sections and tectonic failures. The application of the canopy tube pre-support was proposed in the design for means and methods for the tunnelling sections where very poor geotechnical conditions were expected, first and foremost the sections under very low overburden joining the construction pit for the western portal. This class was not applied during the tunnel excavation. The transition to better excavation support classes 5.2 and 5.3 was planned in the design of means and methods for tunnelling after the portal sections were overcome and the EG conditions was improved. Excavation support classes 4.2 and 4.1 are designed for sections running through very strong and stable rock formed mainly by conglomerates and undisturbed sandstone. SN anchors or IBO anchors, in the cases where there is the threat of collapsing borehole walls, are used for anchoring in classes 5 and 6. In class 4, hydraulically expanded rock bolts are used with respect to the quick activation and easy installation. The thickness of the lining varies from 250mm in the hardest classes to 100mm in class 4.1. The lining with this thickness has no more any structural function from the aspect of the whole tunnel and is not taken into account in the structural analysis. It only provides the integrity of the rock ring and stabilises the surface of the excavated opening in terms of safety. For this reason it is reinforced with only one layer of KARI Q188 mesh. The main load-carrying element is the rock ring stabilised with anchors. Reinforcing frames are not used in this class, which fact puts increased demands on miners and on maintaining the excavation shape. The major differences in the excavation stability systems between classes 6.3 and 5.2 and class 4.1 are presented in Fig. 18.

In the environment formed by flysch, with alternating marl layers, claystone layers and sandstone layers, geotechnical conditions frequently change at each excavation round. It is mainly manifested by the degree of jointing and orientation of discontinuities (see Fig. 19). The situation is more favourable in the case of tunnelling through agglomerates. For that reason, only the number of needles required for the stabilisation of the excavation contour is designed in the documents, with the assumption that their positions around



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. 16 Celkový pohled na východní svah stavební jámy
Fig. 16 Overall view of the eastern slope of the construction pit



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

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.

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 zatřiďování 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 čeleb a jejich fotodokumentace. Práce spojené s vytýčením tunelu, stejně jako měření pro osazování výztužných rámů primárního ostění a měření deformací výruby 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. Způsob zajištění stability výrubu a postupu ražeb je pro jednotlivé technologické třídy výrubu přehledně uspořádán do tab. 1.

Kromě technologických tříd výrubu uvedených v tabulce byla připravena technologická třída výrubu pro ražbu pod želvou na západním 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 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

the top heading circumference will be determined later on the basis of actually encountered conditions. The function of the NATM engineer on site is performed by 3G Consulting Engineers, which provides continual geotechnical supervision and, together with HOCHTIEF representatives, proposes the categorisation into excavation support classes. When the excavation support is modified within the framework of a class (the distribution of needles around the top heading circumference, a change in the type and length of anchors, stabilisation measures at the excavation face etc.), these changes have to be assessed and approved by the author of the design of means and methods. Decisions on the excavation support system and selection of the excavation support class are made on the basis of not only visual monitoring but also of the results of the geotechnical monitoring, which is carried out for the contractor by ARCADIS. After the assessment, the results of measurements are available to all competent parties to the construction on the BARAB web portal, which allows for presenting the results both of the geotechnical measurements and the condition survey of the headings and their photo documentation. Operations associated with setting out the tunnel axis, the measurements for the installation of reinforcing arches for the primary lining and measurements of excavation deformations are carried out by Angermeier Engineers. Monitoring Control Days are held once in two weeks in addition to the daily assessment of geotechnical conditions and optimum setting of the excavation procedure. The past period is assessed and the expected excavation procedure for the subsequent period is discussed in the meetings, in the presence of representatives of the Národná Dialničná Spoločnosť (the National Motorway Company). The method of ensuring the stability of excavation and the excavation procedure for individual excavation support classes is synoptically arranged in Table 1.

Apart from the excavation support classes presented in the table, an excavation support class was prepared for tunnelling under the "tortoise shell" at the western portal and in the mid-point excavation pit and for the excavation under the protection of the canopy tube pre-support. The canopy tube pre-support was applied only to the excavation of the southern tunnel tube in the mid-point construction pit toward the west, which passed under a high-pressure water pipeline supplying the town of Žilina with drinking water, with the relocated bed of a stream and the construction road serving for the transport of muck to the stockpile above it. The initial excavation of the southern tunnel tube toward the east and driving the northern tunnel tube toward the west was supported only by forepoling around the top heading circumference instead of the originally planned canopy tube pre-support. In this particular case, the spiles were inserted into

Tab. 1 Základní parametry zajištění výrubu v technologických třídách podle RDS
Table 1 Basic parameters of the excavation support in the classes according to the design of means and methods

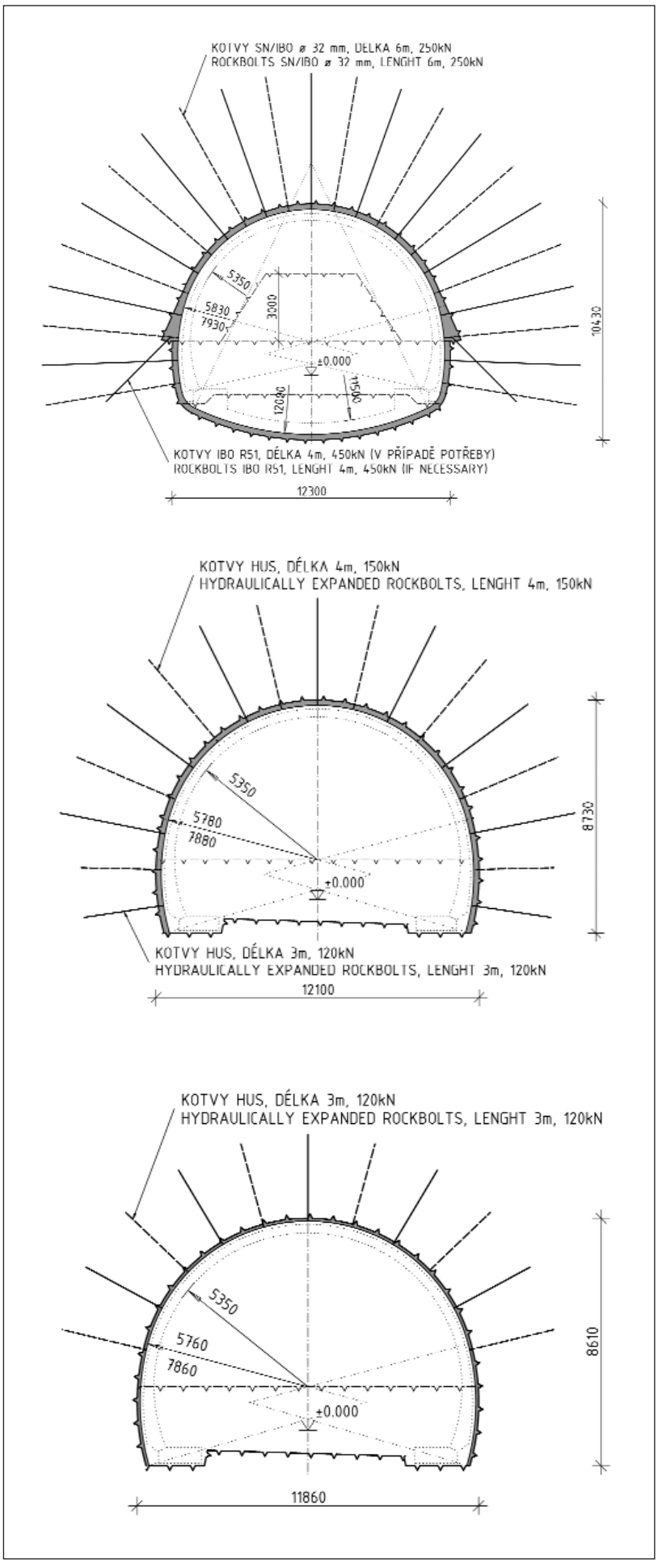
Třída výrubu Třída výrubu	Jed. Jed.	6.3 6.3	6.2 6.2	6.1 6.1	5.2 5.2	5.1 5.1	4.2 4.2	4.1 4.1
Délka záběru Délka záběru	[m] [m]	0,75 – 1,3 0,75 – 1,3	0,75 – 1,3 0,75 – 1,3	0,75 - 1,3 0,75 - 1,3	1,0 - 1,7 1,0 - 1,7	1,0 - 1,7 1,0 - 1,7	1,5 - 2,2 1,5 - 2,2	Bez omezení Bez omezení
Plocha výrubu Plocha výrubu	[m^2] [m^2]	105,2 105,2	105,2 105,2	101,4 101,4	86,0 86,0	86,0 86,0	84,8 84,8	83,1 83,1
Plocha kaloty Plocha kaloty	[m^2] [m^2]	58,9 58,9	58,9 58,9	56,2 56,2	56,2 56,2	56,2 56,2	55,3 55,3	54,0 54,0
Plocha opěří Plocha opěří	[m^2] [m^2]	29,8 29,8	29,8 29,8	29,2 29,2	29,8 29,8	29,8 29,8	29,5 29,5	29,1 29,1
Plocha dna Plocha dna	[m^2] [m^2]	16,5 16,5	16,5 16,5	16,0 16,0	- -	- -	- -	- -
Tloušťka ostění Tloušťka ostění	[mm] [mm]	250 250	250 250	200 200	200 200	200 200	150 150	100 100
Počet sítí KARI Počet sítí KARI	[ks] [ks]	2 KY80 2 KY80	2 Q188 2 Q188	2 Q188 2 Q188	2 Q188 2 Q188	1 Q188 1 Q188	1 Q188 1 Q188	1 Q188 1 Q188
Počet kotev v kalotě Počet kotev v kalotě	[ks] [ks]	9/10 9/10	8/9 8/9	7/8 7/8	6/7 6/7	6/7 6/7	5/6 5/6	5/6 5/6
Délka kotev v kalotě Délka kotev v kalotě	[m] [m]	6 6	4, 6 4, 6	4 4	4 4	4 4	3 3	3 3
Počet kotev v opěří Počet kotev v opěří	[ks] [ks]	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	- -
Délka kotev v opěří Délka kotev v opěří	[m] [m]	6 6	4 4	4 4	4 4	4 4	3 3	- -
Jehly Jehly	[ks] [ks]	20 - 30 20 - 30	20 - 30 20 - 30	15-20 15-20	15-20 15-20	Podle potřeby Podle potřeby	Podle potřeby Podle potřeby	- -
Čelbový klín Čelbový klín	- -	Ano Ano	Podle potřeby Podle potřeby	Podle potřeby Podle potřeby	Podle potřeby Podle potřeby	ne ne	ne ne	ne ne

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 štěrková terasa, resp. vrstva silně zvětralých slínovců a jílovců. Štětová 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

cement grout; during the excavation of the tunnel itself, they are already installed in holes without grout. The excavation of the northern tunnel tube from the mid-point construction pit proceeded toward the west under the "tortoise shell" structure, which was at the time of the commencement of the tunnelling operations already partially backfilled. The constrained conditions where the distance between the portals is only 12.5m are shown in Fig. 20. Construction site drainage leads along the "tortoise shell" vault under the backfill. It evacuates the abundant groundwater inflow mainly on the northern side of the "tortoise shell" structure. Owing to it, the rates of flows of water into the tunnel were successfully reduced. The area above the top heading profile of the section driven behind the "tortoise shell" was reinforced and sealed by sealing grouting prior to the commencement of the excavation under the "tortoise shell" structure and the execution of the backfill. A double-umbrella consisting of concrete reinforcement bars inserted into boreholes filled with grout was carried out above the top heading profile. No overbreaks happened during the course of tunnelling in this tunnel section. Nevertheless, the section excavated under the "tortoise shell" structure is heavily saturated with water and water collection lines are designed from the top heading out of the massif. Other inflows appeared just at the portal during the excavation of the bench in the southern tunnel tube in the western direction. The tunnel excavation proceeding deeper into the mountain is for the time being without significant inflows and the seepage of groundwater is mostly bound to the ground massif fissure system. After the initial top heading excavation rounds, the excavation process at all headings proceeding from the mid-point construction pit got relatively quickly to hard rock mass, consisting mainly of conglomerates. The excavation round length was increased from 1m up to 3m.

Increased attention was paid to the transition from driving under "tortoise shell" structures to the NATM-driven section at the western portal. The reason lied in geotechnical conditions and in the fact that the front end of the construction pit is braced with sheet piles, which



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

were not hammered into the massif. Instead, they were inserted into boreholes, which were subsequently filled with muck. The top heading excavation under the "tortoise shell" structure provided precise information on the ground massif. It will have to be stabilised when the top heading is not protected by the "tortoise shell". A gravel terrace or a layer of heavily weathered marlstone and claystone, extended into the top heading in both tunnel tubes. The soldier pile and lagging wall created an obstacle for groundwater and it was not possible to exclude the saturation of the overhead material with water. For that reason the support using sheet piling with 4m long UNION steel sheet piles driven into the ground around the "tortoise shell" structure circumference with the boom of the drill rig was designed for the next tunnel excavation. In the locations where the gravel terrace passed into claystone layers, the sheet piles were replaced by needles inserted into cement grout. In addition, it was necessary to prevent the loss of stability of the excavation face, which would have led to an uncontrollable extension of the excavation round length. For that reason, boreholes for 8m long IBO anchors were drilled into the excavation face and UNION steel sheets were attached to them in a flat position and were pressed to the excavation face with nuts and plates on the IBO anchors (see Fig. 21). The continuous thread on the IBO anchors allowed for active supporting of the top heading excavation face immediately after the completion of the excavation round by means of lagging. The technological procedure proposed for the construction allowed for safe passing through the risk zone on the contact between the "tortoise shell" structure and the NATM-driven section. Even though design documents expected the subsequent excavation in the ca 70m long section to be carried out under canopy tube pre-support, the decision was made after assessing the geotechnical conditions that excavation support class 6.3 would be applied. This decision turned out to be correct and the tunnel excavation using this class proceeded, owing to the experienced approach of the contractor, TuCon, without more significant problems. The length of an excavation round in this section did not exceed 1m. Despite the top heading excavated cross-sectional area of nearly 60m^2 and the low overburden, the excavation deformations in the section behind the "tortoise shell" section to not exceed 15mm and are reduced to a virtually non-measurable value with the excavation proceeding deeper into the mountain. Small deformational manifestations of the ground mass have still been the common denominator of the excavation at all headings. They remain far behind the values of warning states.

CONCLUSION

The Považský tunnel construction proceeds through variable geotechnical conditions formed by the Carpathian flysch, ranging from heavily weathered interbeds of sandstone, marlstone and claystone at the western portal up to very hard conglomerates in the sections in the middle of the tunnel length. Both the tender documents and the design of means and methods define one excavation support class for the whole tunnel cross-section. The actually encountered geotechnical conditions show that it would be reasonable to define excavation support classes for individual parts of the excavation sequence (top heading, bench and, respectively, bottom) in the design and, depending on the situation encountered at the excavation face, categorise the excavation into respective excavation



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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

lafetou vrtacího vozu zahnány po obvodu želvy. V místech, kde štěrková 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 zhotovitelské firmy TuCon bez větších problémů. Délka záběru v tomto úseku nepřesahovala 1 m. I přes plochu kaloty téměř 60 m^2 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.

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 výruby (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 zatřiďování 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 rámů 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 pro-

support classes separately for each partial excavation. In this sense, the most marked situation was in the mid-point construction pit, where cover layers categorised as class 6.3 extended into the top heading, whilst the bench excavation through hard conglomerates was far from so massive support system which is prescribed by class 6.3.

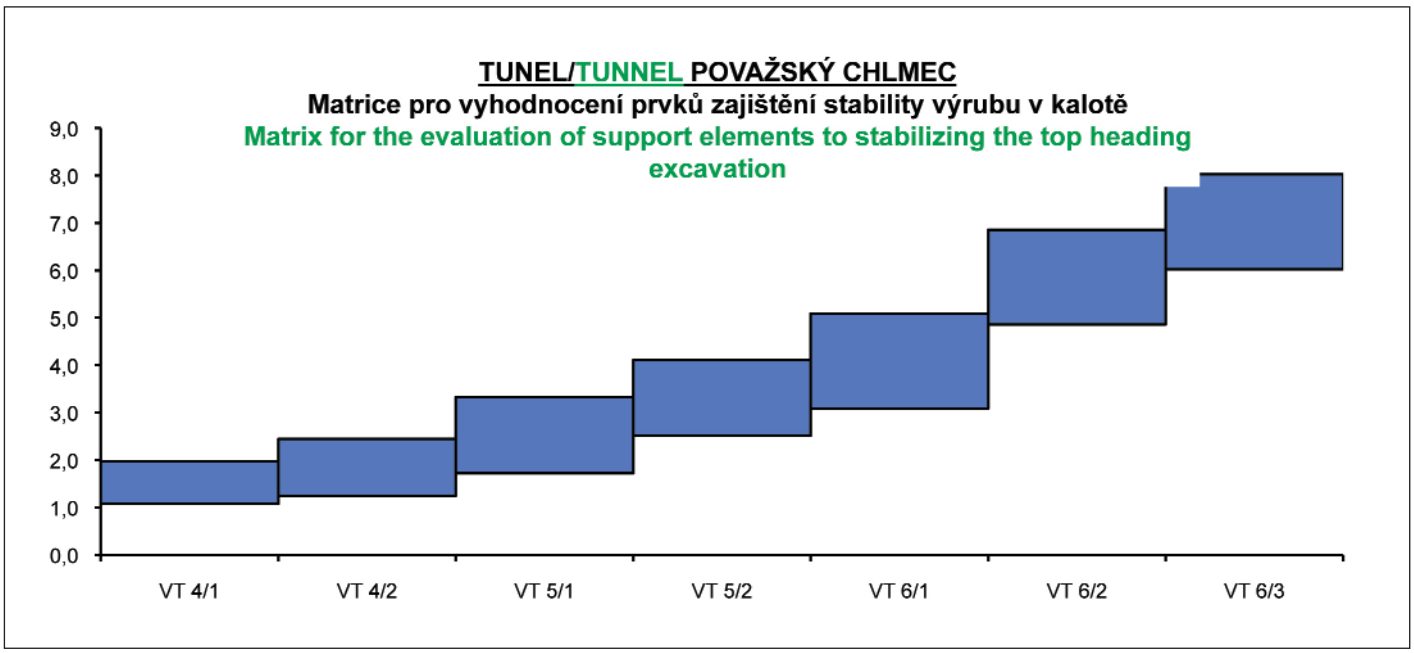
Thanks to the helpful approach of experienced representatives of the client, the Národná Dialničná Spoločnosť, and the supervision provided by the EUTECH&ESP&MULLER&API-D3 consortium, the consensus of opinion on the method of ensuring the stability of excavation according to geotechnical conditions encountered in the construction process is successfully achieved and the basic NATM principles are applied in practice. The proposal for the categorisation into excavation support classes and their modifications are submitted by representatives of the contractor, HOCHTIEF. Lots of changes in the excavation support system have been made during the course of the till now completed excavation, comprising changes in the types or lengths of anchors, the scope of forepoling, leaving out reinforcing frames during the bench excavation or leaving out a layer of mesh, etc. It is helped by the realisation of the works in compliance with the FIDIC Yellow Book. This contractual relationship, in contrast with the Red Book, does not require lengthy and often discouraging negotiations about deviations from the design of means and methods. It therefore allows for really economic and safe excavation of tunnels. Each modification of elements designed to secure the stability of excavation is authorised by a mine designer in the form of his official written statement.

The tender documentation requires assessing the excavation support classes contained in the design of means and methods using the



foto/photo courtesy of Libor Mařík

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



Obr. 22Vyhodnocení technologických tříd výrubu podle TP06-1/2006
Fig. 22 Assessment of excavation support classes according to TP06-1/2006 specifications

jednávání změn oproti realizační dokumentaci a umožnuje tak skutečně ekonomickou a bezpečnou ražbu tunelů. Každá úprava prvků zajištění stability výrubu je autorizována báňským projektantem formou jeho oficiálního, písemného vyjádření.

Zadávací dokumentace vyžaduje vyhodnocovat technologické třídy výrubu uvedené v realizační dokumentaci podle metodiky uvedené v TP 06-1/2006. Jedná se o překlad rakouské normy ÖNORM B2203-1, která definuje smluvní podmínky mezi investorem a zhotovitele při konvenční ražbě tunelů a mimo jiné určuje pomoci matric způsob účtování za ražbu v technologické třídě výrubu. V rámci realizační dokumentace byly proto vytvořeny pro každou technologickou třídu výrubu v závislosti na způsobu vystrojení, délce záběru a ploše dílčích výrubů matrice, které znázorňuje obr. 22. Vzhledem k tomu, že při výstavbě platí smluvní podmínky podle žluté knihy FIDIC a nikoli podle pravidel uvedených v technických podmínkách TP 06-1/2006, má toto vyhodnocování pouze akademický význam a z hlediska smluvních vztahů mezi investorem a zhotovitelem nehraje žádnou roli. Při posuzování úprav způsobu zajištění stability výrubu a postupu prací nelze proto výsledky vyhodnocení ve smluvním vztahu použít.

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.

Ing. LIBOR MAŘÍK, IKP Engineers Group, s. r. o.

Recenzovali:Ing. Viktória Chomová, Ing. Pavel Růžička, Ph.D.

methodology contained in the TP 06-1/2006 specifications. These specifications are a translation of the Austrian ÖNORM B2203-1, which defines contractual conditions between the client and the contractor during conventional tunnel excavation and, among others, determines the method of charging for the excavation in a particular excavation support class by means of a matrix. For that reason, the matrices presented in Fig. 22 were developed for each excavation support class, depending on the support system, the length of the excavation round, and the cross-sectional area of partial headings. With respect to the fact that contractual conditions according to the FIDIC Yellow Book are applied instead of the rules contained in TP 06-1/2006 specifications, this assessing has only academic importance and plays no role in terms of contractual relationships between the client and the contractor. For that reason, the results of the assessment cannot be used in assessing the modifications of the excavation stability method and the works procedure.

In comparison with the assumptions contained in the tender documents and the design of means and methods, the excavation proceeds in more favourable geological conditions. The values of the deformational manifestations of the ground massif are a fraction of the expected values. The representation of excavation support classes is for the time being heading toward easier classes with a smaller number of support elements and longer excavation rounds. Carrying out the overall assessment of the excavation will be possible only after the completion of the excavation of the entire tunnel.

The unique tunnel excavation from up to eight headings is demanding in terms of the organisation activities at individual workplaces. But it is a condition for complying with the works schedule.

Ing. LIBOR MAŘÍK, IKP Engineers Group, s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

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