ÚLOHA GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU A INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ DOKUMENTACE V RÁMCI VÝSTAVBY TUNELU POVAŽSKÝ CHLMEC

GEOTECHNICAL MONITORING AND ENGINEERING GEOLOGICAL DOCUMENTATION IN THE POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL CONSTRUCTION PROCESS

JIŘÍ TLAMSA, ANNA VOJTĚCHOVSKÁ

ABSTRAKT

Tunel Považský Chlmec o celkové délce 2,2 km je součástí nového úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) a je navržený jako tunel se dvěma tunelovými troubami o dvou jízdních pruzích. Ražba tunelu je prováděna metodou NRTM jak z definitivních portálů v místě napojení na přilehlé mostní objekty, tak i z dočasných portálů nacházejících se přibližně ve středu tunelu v samostatné stavební jámě. Vzhledem k náročnosti stavebních konstrukcí a složitým geologickým podmínkám v podobě tektonicky postižených hornin bradlového pásma (slepence, pískovce a jílovce) a mocných poloh kvartérních uloženin různých geotechnických vlastností se realizace stavby od svého zahájení neobešla bez komplexního geotechnického a hydrogeologického monitoringu. V rámci jednotlivých stavebních objektů v podobě stavebních jam, jednotlivých portálů a samotné ražby tunelových trub bylo v mnoha případech názorně ukázáno, že přínos geotechnické činnosti na takovémto typu stavby spočívá jak v zajištění celkové bezpečnosti výstavby, tak zejména její adaptaci na zastižené geotechnické podmínky odrážející se v jejím urychlení a snížení nákladů.

ABSTRACT

The Považský Chlmec tunnel, with the total length of 2.2km, is part of the new Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) Tunel section of the D3 motorway. It is designed as a structure consisting of two double-lane tunnel tubes. The tunnel is being driven using the NATM method, not only from both definite portals in the locations of the connections to the ends of adjacent bridges, but also from temporary portals located approximately in the middle of the tunnel, in a separate construction pit. With respect to demanding building structures and complex geological conditions in the form of tectonically affected rock types of the Klippen Belt (conglomerates, sandstone and mudstone) and thick layers of Quaternary sediments with various geotechnical properties, the realisation of the construction could not do without comprehensive geotechnical and hydrogeological monitoring from the beginning. In many cases it has been clearly shown on individual building structures in the form of construction pits, individual portals and the excavation for the tunnel tubes that the contribution of geotechnical activities at such the type of construction lies both in securing overall construction safety and, in particular, in its adaptation to the geotechnical conditions encountered, reflecting themselves in the works acceleration and lowering the costs.

ÚVOD – ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PROJEKTU VÝSTAVBY

Nově budovaný úsek dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) je součástí prioritního tahu D1 a D3 v trase Bratislava – Trenčín – Žilina – Skalité. Jeho úvodní část tvoří 1,5 km dlouhá estakáda se dvěma samostatnými mosty pro každý směr, která po překlenutí vodní nádrže Hričov přechází do tunelu Považský Chlmec. Vyústění dálnice z tunelu pokračuje 0,4 km dlouhým mostem přes řeku Kysucu. Tunel Považský Chlmec je navržený jako dvoutroubový kategorie T2-8 s šířkou vozovky 8 m a výškou průjezdného průřezu 4,8 m. Ražba tunelu včetně sedmi propojek je prováděna metodou NRTM s horizontálním členěním výrubu. Plocha výrubu tunelových trub se v závislosti na geotechnických podmínkách a zvolené vystrojovací třídě pohybuje v rozmezí 83–105 m^2. Hloubené úseky tunelu se nacházejí jak v oblasti západního a východního portálu, tak i v prostoru střední stavební jámy. Z celkové délky jižní tunelové trouby 2186,5 m je raženo 2120,5 m. V případě severní tunelové trouby je z celkové délky 2249 m raženo 2200 m. Specifikem projektu výstavby tunelu Považský Chlmec je rovněž využití technologie ražby pod zastropením – tzv. metoda „želva“, která byla vzhledem k předpokládaným geotechnickým podmínkám a mocnosti nadloží zvolena v případě zahájení ražeb obou tunelových trub ze západního portálu v délce

INTRODUCTION – BASIC CONSTRUCTION PROJECT DATA

The section of the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section is part of the priority axis D1 and D3 being newly built on the Bratislava – Trenčín – Žilina – Skalité route. Its initial part is made up of a 1.5km long viaduct with two independent bridges for each direction, which, after bridging the Hričov dam reservoir, passes into the Považský Chlmec tunnel. The motorway emerging from the tunnel continues on a 0.4km long bridge over the river Kysuca. The Považský Chlmec tunnel is designed as a T2-8 category twin-tube structure with the roadway width of 8m and the clearance 4.8m high. The excavation of the tunnel, including 7 cross passages, is being carried out using the NATM with the so-called horizontal excavation sequence (top heading, bench and invert). The tunnel tube excavated cross-sectional area ranges from 83 to 105m^2, depending on geotechnical conditions and the chosen excavation support class. Cut-and-cover tunnel sections are located both in the area of the western portal and the eastern portal and in the space of the mid-point construction pit. Of the total length of the southern tunnel tube of 2186.5m, the length of 2120.5m is carried out by mining methods. In the case of the northern tunnel tube, the length of 2200m of 2249m is mined. A specific feature of the Považský tunnel construction lies in the application of the cover-and-cut

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 1 Přehledná situace nového úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno)
Fig. 1 Layout of the new Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section of the D3 motorway

37,5 a 50 m, i ražby severní tunelové trouby ze střední stavební jámy směrem na východ v délce 34,5 m. Stavební práce na tomto úseku dálnice D3 byly zahájeny v květnu 2014. Termín zprovoznění je naplánován na červen roku 2017. V případě jižní tunelové trouby v době psaní příspěvku (konec listopadu 2015) zbývalo vyrazit zhruba 270 m mezi střední částí a východním portálem. Ze severní tunelové trouby zbývalo vyrazit zhruba 570 m v úseku od východního portálu, kde ražba zatím nebyla zahájena.

Realizace celé stavby probíhá podle smluvních podmínek žluté knihy FIDIC, což zhotoviteli a projektantovi již od fáze nabídky umožňuje v souladu s pravidly zadávací dokumentace optimalizovat technické řešení a postup výstavby. Zhotovitelem tunelu Považský Chlmec je firma HOCHTIEF CZ a.s., která provádí ražbu ze střední portálové jámy. Ražbu ze západního a východního portálu pak provádí její subdodavatel firma TuCon, a.s. Zpracovatelem realizační dokumentace tunelu a portálových stavebních jam je projekční skupina firmy HOCHTIEF CZ a.s. Přehledná situace nového úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) s vyznačením hlavních stavebních objektů je uvedena na obr. 1.

GEOLOGICKÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Převážná část trasy nově budovaného úseku dálnice prochází horninovým prostředím s celkově pestrou a komplikovanou strukturně-geologickou stavbou. Ražba tunelového komplexu i zakládání přilehlých mostních objektů je realizována v prostředí zvrásněných křídových sedimentárních hornin pieninského bradlového pásma v podobě nepravidelného střídání různě mocných poloh exotických polymiktních slepenců s vápnito-písčitým a jílovito-slínitým tmelem (obr. 2), jemně až hrubě zrnitých pískovců, prachovců a jílovců (obr. 3). Z pohledu geotechnických vlastností, a tedy i podmínek výstavby, se tyto jednotlivé horninové typy významně odlišují zejména svou pevností, četností a charakterem přítomných diskontinuit v podobě vrstevních ploch, systémů puklin

technique branch, the so-called "Tortoise Method", which was selected with respect to the anticipated geotechnical conditions and the thickness of the overburden in the case of the commencement of the excavation of both tunnel tubes from the western portal for the lengths of 37.5m and 50m, respectively, and the length of 34.5m for the excavation of the northern tunnel tube from the mid-point construction pit to the east. Construction work on this D3 motorway section commenced in May 2014. Opening the tunnel to traffic is planned for June 2017. As far as the southern tunnel tube is concerned, about 270m of the excavation between the middle part and the eastern portal currently (the end of September 2015) remain to be driven. Regarding the northern tunnel tube, an about 570m long section from the eastern portal on, where the tunnel excavation has not been started yet, remains to be driven.

The realisation of the entire construction, proceeding according to the FIDIC Yellow Book contractual conditions, allows the contractor and the designer as early as from the bidding phase to optimise technical procedures and the construction process, in accordance with the terms and conditions of the tender design. The contractor for the construction of the Považský Chlmec tunnel is HOCHTIEF CZ a.s. It drives the tunnel from the mid-point portal construction pit. From the western and eastern portals it is driven by its sub-contractor, TuCon a.s. The final design for the tunnel and the portal construction pits is carried out by the designing group of HOCHTIEF a.s. The layout of the new Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section with the main structures marked in it is presented in Fig. 1. The detailed design for the tunnel and portal construction pits is carried out by the designing group of HOCHTIEF a.s.

GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA OF OPERATIONS

The major part of the route of the motorway section being newly built passes through rock environment with generally varied and complicated geological structure. The excavation for the complex of tunnels and the foundation of adjacent bridge

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 2 Polymiktní slepence s vápnito-písčitým tmelem s vysokou pevností
Fig. 2 High strength polymict conglomerates with calcareous-sandy cement

i tektonických poruch, náchylností k zvětrávacím procesům nebo propustností.

Horninový masiv je na mnoha místech prostoupen tektonickými poruchami různého řádu, které se v rámci geotechnických podmínek výstavby projevují nepravidelným střídáním horninových bloků odlišných geotechnických vlastností a celkovým oslabením horninového masivu (tj. výrazné podrcení a provrásnění, vyšší míra zvětrání, intenzivnější přítoky podzemní vody atd.). Křídové sedimentární horniny bradlového pásma jsou v prostoru trasy tunelu zvrásněny s generelním úklonem vrstev mezi 30–60° směrem k SSV. Zejména v blízkosti významnějších tektonických poruch a poruchových pásem však může být orientace a sklon vrstevních ploch velmi proměnlivá.

Kromě křídových hornin výstavba na několika místech probíhá také v prostředí kvartérních pokryvných útvarů různé geneze, mocnosti a geotechnických vlastností. Na svazích v prostoru portálových úseků tunelů se nacházejí často mocné polohy deluviálních a deluvio-proluviálních sedimentů, které představují svahovými pohyby přemístěné zvětraliny podložních hornin. Zrnitostní složení a celková mocnost těchto uloženin může být značně proměnlivá a je přímo závislá na délce i charakteru transportu, morfologické pozici a litologii původní horniny. Zastoupeny jsou tak písčitokamenité

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 3 Lavicovité polohy pískovců střední pevnosti a tence deskovité polohy jílovců velmi nízké pevnosti
Fig. 3 Beds of medium strength sandstone and thin plates of very low strength mudstone

structures is realised in an environment formed by folded Cretaceous sedimentary rock types of the Pieniny Klippen Belt having the form of irregular alternation of variously thick layers of exotic polymict conglomerates, mudstone with calcareous-sandy and clayey-marly cement (see Fig. 2), finely to coarsely grained sandstone, siltstone and mudstone (see Fig. 3). In terms of geotechnical properties, thus also the conditions for the construction, these individual rock types significantly differ, mainly in their strength, frequency and the character of present discontinuities having the form of bedding planes, systems of fissures and tectonic faults, propensity to weathering processes or permeability.

The rock mass is permeated in many places by tectonic faults of various order. They manifest themselves within the framework of geotechnical conditions of the construction by irregular alternation of rock blocks with different geotechnical properties and overall weakening of the rock mass (significant crushing and folding, a higher degree of weathering, more intense groundwater inflows etc.). The Cretaceous sedimentary rock types forming the Klippen Belt are folded with the general NNE trend of the layers ranging from 30° to 60°. However, the trend and dip of layers can be very variable in particular in the vicinity of more significant tectonic faults and weakness zones.

Apart from Cretaceous rock types, the construction passes in several locations through an environment formed by Quaternary superficial deposits of various genesis, thickness and geotechnical properties. Thick layers of deluvial and deluvio-proluvial sediments are frequently found on slopes in the area of portal sections of the tunnels. They represent solid products of weathering of the underlying rock relocated by slope movements. The grain-size composition and the total thickness of the deposits can be significantly variable and is directly dependent on the length and character of transport, the morphological position and lithology of the original rock. It means that sandy-stony and clayey-stony debris, loamy and clayey sand or clay with a variable proportion of a sandy component, fragments and boulders are represented in the ground mass. In the area of the mid-point construction pit, which is partially located in the area of a creek bed, there are also highly heterogeneous layers of fluvial and proluvial sediments. In addition, irregular layers of terrace sandy gravels were encountered within the framework of construction work in the area of the western portal, on the slope above the creek bed (see Fig. 4).

Three basic horizons of groundwater exist in the area of excavation and adjacent cut-and-cover structures with respect to the geological conditions. Their yield and character of flow are given by hydraulic and hydrogeological properties of the particular environment. The most abundant aquifer is represented by fluvial and proluvial sandy and gravel-sandy sediments with intrinsic permeability, which were encountered in the area of the mid-point construction pit. A less significant horizon of groundwater contained in deluvial and deluvio-proluvial sediments is located usually in their basal coarsely graded layers or, as the case may be, in the area of morphological depressions and erosion grooves with more intense water flows. As far as Cretaceous rock types are concerned, it is the case of environment with fissure permeability, where more significant flows and yield exists only in upper weathered and loosened parts of the rock massif. At greater depths, more intense groundwater inflows are bound only to layers of more heavily fractured rock and tectonic faults.

With respect to the project extent, several stages of geological survey work were carried out within the framework of the design preparation of the whole construction. With respect to

a jílovitokamenité sutě, hlinité a jílovité písky nebo jíly s variabilním podílem písčité složky, úlomků a valounů. V oblasti středové stavební jámy, která se zčásti nachází v prostoru koryta potoka, se vyskytují také velmi heterogenní polohy fluviálních a proluviálních uloženin. V rámci stavebních prací v oblasti západního portálu ve svahu nad korytem řeky byly zastiženy rovněž nepravidelné polohy terasových písčitých štěrků (obr. 4).

V prostoru ražeb a přilehlých hloubených objektů se vzhledem ke geologickým poměrům vyskytují tři základní obzory podzemní vody, jejichž vydatnost a charakter proudění jsou dány hydraulickými a hydrogeologickými vlastnostmi daného prostředí. Nejvydatnější zvodeň představují fluviální a proluviální písčité a štěrkovité sedimenty s průlinovou propustností zastižené v prostoru středové jámy. Méně významný obzor podzemní vody deluviálních a deluvio-proluviálních sedimentů se nachází zpravidla v jejich bazálních hrubozrnných polohách, případně v prostoru morfologických depresí a erozních rýh s intenzivnějším prouděním vody. U křídových hornin se jedná o prostředí s puklinovou propustností, kde se výraznější proudění i vydatnost nachází jen ve svrchních zvětralých a rozvolněných partiích horninového masivu. Ve větších hloubkách jsou pak intenzivnější přítoky podzemní vody vázané zpravidla jen na polohy silněji rozpukané horniny a tektonické poruchy.

V rámci projekční přípravy celé stavby bylo s ohledem na její rozsah provedeno několik etap geologicko-průzkumných prací. Vzhledem k charakteru horninového prostředí, které je specifické zejména nepravidelným střídáním odlišných litologických typů hornin a častým výskytem tektonických poruch, a také omezenému rozsahu a metodice průzkumných prací ovlivněných nepřístupným a členitým terénem, je však velmi obtížné, zejména v případě tunelu s horninovým nadložím dosahujícím často více než 100 m, v celé jeho trase pro obě tunelové trouby přesně popsat inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry. V průběhu výstavby jednotlivých stavebních objektů se tak mohou vždy ve větší či menší míře zastihnout odlišné geotechnické podmínky, než ty původně průzkumem předpokládané. Pro zajištění ekonomiky a maximální bezpečnosti výstavby proto musí být realizační projekt a celá výstavba vždy schopné operativně reagovat na skutečně zastižené podmínky.

GEOTECHNICKÝ MONITORING A INŽENÝRSKOGEOLOGICKÁ DOKUMENTACE

Od zahájení výstavby nového úseku dálnice D3 je obdobně jako u jiných takto rozsáhlých a náročných staveb prováděn komplexní geotechnický a hydrogeologický monitoring. Základním úkolem této činnosti je jednak sledovat negativní vliv stavby na okolní horninové prostředí a stávající objekty povrchové zástavby a jednak sledovat chování nových stavebních konstrukcí a jejich interakci s okolním horninovým prostředím. Metodika a rozsah geotechnického monitoringu odpovídají typu a náročnosti jednotlivých stavebních objektů a předpokládaným geotechnickým podmínkám. V průběhu výstavby je pak činnost monitoringu podle potřeby přizpůsobována jak změnám v realizačním projektu a postupu výstavby, tak i skutečně zastiženým podmínkám nebo vzniklým geotechnickým problémům.

Sledování odezvy horninového masivu na provedený zásah v podobě výkopových prací a ražeb je prováděno pomocí inklinometrického a extenzometrického měření ve vrtech (z povrchu i podzemí), konvergenčního měření výrubů nebo geodetickým sledováním povrchu terénu v prostoru poklesových

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 4 Terasové písčité štěrky zastižené v oblasti západního portálu
Fig. 4 Sandy terrace gravels encountered in the area of the western portal

the character of the rock environment, which is specific mainly by the irregular alternation of different lithological rock types and frequent occurrence of tectonic faults, and also to the limited extent and methodology of survey operations affected by the inaccessible and rugged terrain, it is very difficult, most of all in the case of a tunnel with the overburden height frequently exceeding 100m throughout the length of the routes of both tunnel tubes, to describe the engineering and geological and hydrogeological conditions exactly. Therefore geotechnical conditions differing to higher or lower extent from those predicted by the original investigation can always be encountered during the course of the construction of individual structures. For that reason, the final design and the whole construction process have always to be capable of operatively responding to actually encountered conditions.

GEOTECHNICAL MONITORING AND ENGINEERING GEOLOGICAL DOCUMENTATION

Comprehensive geotechnical and engineering geological documentation has been carried out, similarly to other that large and demanding construction projects, since the beginning of the construction of the new section of the D3 motorway. The fundamental task of this activity is to monitor the negative influence of the construction on surrounding ground environment and existing surface buildings and structures and to monitor the behaviour of new structures and their interaction with the surrounding ground environment. The methodology and extent of geotechnical monitoring correspond to the type and demands of individual structures and the anticipated geotechnical conditions. During the course of the construction, the monitoring activities are adapted to changes in the detailed design and the construction progress, as well as the actually encountered conditions or originating geotechnical problems.

The monitoring of ground mass response to an intervention in the form of excavation and mining operations is carried out by inclinometer and extensometer measurements in boreholes (from both the surface and underground), convergence measurements of excavated openings or geotechnical observation of the terrain surface in the area of the settlement trough and the slopes of trenches for cut-and-cover structures. The influence of a construction on hydrogeological conditions in the ground environment in the form of changes in the levels of the water tables and the regime of groundwater flows is monitored by means of observation hydrogeological boreholes. Permanent

kotlin a svahů výkopů hloubených objektů. Vliv stavby na hydrogeologické poměry horninového prostředí v podobě změn úrovní hladin a režimu proudění podzemní vody je sledován pomocí pozorovacích hydrogeologických vrtů. Monitoring trvalých i dočasných stavebních konstrukcí a jejich interakce s okolním prostředím je prováděn pomocí geodetického měření (sledování deformací vyztužených svahů, pilotových a záporových stěn stavebních jam), měření kotevních sil nebo sledováním změn napětí ostění tunelů a tlaku okolní horniny na ostění pomocí tenzometrů a tlakových podušek. Negativní vliv stavby na objekty povrchové zástavby v podobě stávajících komunikací, inženýrských sítí, obytných objektů nebo sloupů vysokého napětí je sledován formou geodetického měření (trigonometrické měření, přesná nivelace, laserové 3D skenování), monitoringem vzniku a progrese možného porušení budov nebo kontinuálním měřením seismických účinků od trhacích prací.

Důležitým úkolem geotechnického monitoringu je rovněž ověřování předpokladů provedených geologických průzkumných prací formou podrobné dokumentace skutečně zastižených inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů. Tato činnost zahrnuje jak dokumentaci ražeb tunelů, hloubení stavebních jam a zářezů přístupových cest, tak i dokumentaci vrtů pro potřeby monitoringu nebo vrtů pro piloty, zápory a kotvy. Výstupy geologické dokumentace pak společně s výsledky ostatních monitorovacích metod především umožňují operativně přizpůsobovat projekt i technologii výstavby zastiženým podmínkám. Hlavním dodavatelem geotechnického monitoringu výstavby nového úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) je společnost ARCADIS CZ a.s. Subdodavateli monitoringu zajišťujícími dílčí činnosti jsou pak společnosti Angermeier Engineers, s.r.o. (konvergenční měření), INSET s.r.o. (seismická a geoelektrická měření), GeoExperts, spol. s r.o. (inklinometrická a extenzometrická měření, tlakové podušky, tenzometry). Veškeré výstupy monitoringu jsou bezprostředně po jejich vyhodnocení prezentovány v informačním systému BARAB, který je dostupný všem kompetentním účastníkům výstavby. Příklady využití výstupů geotechnického monitoringu a inženýrskogeologické dokumentace v rámci hloubených a ražených objektů nového úseku dálnice D3 jsou podrobně uvedeny v následujících kapitolách.

Hloubené stavební objekty

Přínos výsledků jednotlivých činností geotechnického monitoringu, zejména pak inženýrskogeologické dokumentace, byl dobře ilustrován v případě realizace a zajišťování stavební jámy v oblasti portálů ve střední části tunelu. Vzhledem k nepřístupnosti původního terénu v podobě velmi strmých zalesněných svahů a souvisejícímu omezenému počtu průzkumných sond v prostoru projektované stavební jámy bylo po odlesnění v místě budoucích portálů provedeno několik kopaných sond, pomocí nichž byla ověřena mocnost a charakter kvartérních pokryvných útvarů a horninového podloží. K upřesnění inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů zde byla využita i dokumentace souběžně prováděných inklinometrických a hydrogeologických vrtů. Díky nově zjištěným informacím o geotechnických podmínkách výstavby byla ověřena správnost nového řešení jámy, kdy byla původně svahovaná jáma upravena na jámu menšího rozsahu zajištěnou zčásti svahováním (boční svahy) a zčásti záporovým pažením (portálové stěny). V prostoru severní tunelové trouby v oblasti koryta původního potoka pak byla rovněž vzhledem k nepříznivým geotechnickým podmínkám využita konstrukce želvy.

and temporary structures and their interaction with the surrounding environment are monitored by topographical survey (the observation of deformations of supported slopes, pile walls, soldier beam and lagging walls of construction pits), measuring the anchoring forces or monitoring the changes in the stress in tunnel liners and the pressure induced by the surrounding ground on the tunnel lining by means of pressure gauges and pressure cells. The negative influence of the construction on surface buildings and structures having the form of existing roads, engineering networks, residential buildings or high tension distribution poles is monitored by means of topographical survey (trigonometric survey, precision levelling, 3D laser scanning), by monitoring of the origination and progress of potential damage caused to buildings or continual measuring of seismic effects due to the effects of blasting operations.

Another important task of geotechnical monitoring is to verify the assumptions of completed survey operations in the form of detailed documentation of actually encountered engineering geological and hydrogeological conditions. This work incorporates not only the documentation of the excavation of tunnels, excavation of construction pits and trenches for access roads, but also the documentation of boreholes carried out for monitoring purposes or boreholes for piles, soldier beams and anchors. The geological documentation outputs, together with the results of the other monitoring methods, primarily subsequently allow for the operative adaptation of the design and the construction technique to the actually encountered conditions. The main contractor for the geotechnical monitoring of the construction of the new Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section of the D3 motorway is ARCADIS CZ a.s. with Angermeier Engineers, s.r.o. as the sub-contractor for convergence measurements, INSET s.r.o. for seismic and geoelectric measurements, GeoExperts spol. s r. o. for inclinometer and extensometer measurements, pressure cells and pressure gauges. All monitoring outputs are immediately after assessing them presented in the BARAB information centre, which is available to all competent parties of the construction.

Examples of the use of the outputs of geotechnical monitoring and engineering geological documentation within the framework of cut-and-cover and mined structures on the new section of the D3 motorway are presented in detail in the following chapters.

Cut-and-cover structures

The contribution of results of individual geotechnical monitoring activities, in particular the engineering geological documentation, was well illustrated in the case of the realisation and stabilisation of the construction pit in the areas of portals in the middle part of the tunnel. Several trial holes were dug after deforestation in the area of future portals taking into consideration the inaccessibility of the original terrain having the form of very steep forested slopes and the limited number of investigation probes in the area of the planned construction pit associated with it. The probes verified the correctness of the thickness and character of the Quaternary superficial deposits and the bedrock. Even the documentation of the concurrently carried out inclinometer and hydrogeological boreholes was used for refining the engineering geological and hydrogeological conditions in this area. The correctness of the new solution to the pit, where the originally sloped pit was modified to a smaller pit stabilised partially by sloping (lateral slopes) and partially by soldier beam and lagging walls (the portal walls), was verified thanks to newly learned information on the geotechnical conditions of the construction. The “tortoise” structure was in addition used in the area of the northern tunnel tube in the area of the original creek

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 5 Stěna východního portálu jižní tunelové trouby zajištěná záporovým pažením a betonovým zástřikem

Fig. 5 The wall of the eastern portal of the southern tunnel tube supported by a soldier beam and lagging wall and shotcrete

Informace o inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrech v místě budoucích portálů byly po zahájení samotné výstavby dále upřesňovány v rámci dokumentace vrtů pro jednotlivé zápory. Na základě výstupů této dokumentace se v místě záporových stěn podařilo celkem přesně určit mocnost a charakter kvartérních pokryvných útvarů (deluviální a proluviální sedimenty, fluviální uloženiny potoka), rozsah jednotlivých litologických typů hornin (slepence, pískovce a slínovce), dosah zóny zvětrání a rozvolnění horninového podloží nebo přítomnost a intenzitu přítoků podzemní vody. V případě záporové stěny východního portálu jižní tunelové trouby a západního portálu severní tunelové trouby bylo navíc vzhledem k zastižení masivních slepenců vysoké pevnosti na základě prováděné dokumentace u velkého počtu zápor přistoupeno k jejich zkrácení a související úpravě zajištění stěn v podobě změn úrovní převázek lanových kotev.

V průběhu postupného hloubení středové jámy byla následně prováděna kontinuální dokumentace zastižených zemin a hornin nebo přítoků podzemní vody, která vedla k dalšímu upřesnění geotechnických podmínek výstavby. Informace o horninovém prostředí v blízkém okolí jámy zahrnující mocnost kvartérních zemin, dosah zvětralé a rozvolněné zóny podloží nebo přítoky podzemní vody byly částečně získávány i v rámci dokumentace vrtů pro lanové kotvy záporových stěn, případně i hřebíky ve svahované části jámy. Výstupy této dokumentace byly cenné zejména v prostoru portálů jednotlivých tunelových trub – pro návrh dočasného zajištění svahů v místě budoucího výrubu a pro optimalizaci zajištění úvodních úseků ražby. V případě realizace záporových stěn bylo na základě výsledků geologické dokumentace prováděno jednak standardní pažení pomocí dřevěných trámů, nebo při zastižení nezvětralé a neporušené horniny zajišťování stěn pomocí ocelových sítí a stříkaného betonu (obr. 5).

Výsledky geotechnického monitoringu v podobě sledování odezvy horninového masivu na stavební zásah a jeho interakce s vytvořenými stavebními konstrukcemi ve většině případů potvrdily očekávaný vývoj deformací, a tím i správnou volbu projektovaného řešení zajištění a realizace jámy. Rovněž pokles hladiny podzemní vody v jednotlivých pozorovacích vrtech po obvodu jámy odpovídal předpokládanému vlivu stavby na hydrogeologické poměry, případně intenzitě srážkové činnosti. Pouze v ojedinělých případech bylo na základě zjištění nežádoucí velikosti a trendu deformací přistoupeno k úpravě

bed with respect to unfavourable geotechnical conditions.

Information on engineering geological and hydrogeological conditions in the locations of future portals was further refined within the framework of the documentation of boreholes for individual soldier beams after the commencement of the construction operations. The thickness and character of the Quaternary superficial deposits (deluvial and proluvial sediments, fluvial deposits of the creek), the extent of individual lithological types of rock (conglomerates, sandstone and marlstone), the reach of the zone of weathering and loosening of the bedrock or the presence and intensity of groundwater inflows in the locations of the soldier beam and lagging walls were successfully determined on the basis of the outputs of this documentation. In addition, it was decided that the lengths of the soldier beams were to be reduced and the relating stabilisation of the walls to be modified by changing the levels of walers on cable anchors in the cases of the soldier beam and lagging walls at the eastern portal of the southern tunnel tube and the western portal of the northern tunnel tube with respect to encountering massive high strength conglomerates at a big number of the soldier beams determined on the basis of the conducted documentation.

The ground and rock types or groundwater inflows were subsequently documented during the course of the gradual excavation of the mid-point construction pit. It led to further refining of geotechnical conditions of the construction. Information on the rock environment in the vicinity of the pit, covering the thickness of Quaternary soils, the reach of the weathered and loosened zone of the bedrock or groundwater inflows, was partially obtained even within the framework of the documentation of boreholes for cable anchors of the soldier beam and lagging walls or even nails in the sloped part of the pit. The outputs of this documentation were valuable particularly in the areas of portals of individual tunnel tubes – for designing the temporary stabilisation system of slopes in the locations of future tunnelling operations and for optimising the support in the initial tunnel excavation sections. In the case of the realisation of soldier beam and lagging walls, standard lagging using wooden beams was used or, when non-weathered and undisturbed rock was encountered, the walls were supported with steel mesh and shotcrete on the basis of the results of the geological documentation (see Fig. 5).

The results of geotechnical monitoring in the form of the observation of ground mass response to construction interventions and its interaction with new structures confirmed the anticipated development of deformations, thus also the correctness of the choice of the design solution to the pit stabilisation and realisation. The drop of the water table level in individual observational boreholes around the pit circumference also corresponded to the assumed influence of the construction on hydrogeological conditions, eventually to the intensity of rainfall. It was only in sporadic cases that undesirable magnitude and trend of deformations requiring changes in the design of the pit stabilisation system were detected. One of such cases was, for example, the rehabilitation of an access road, which was carried out in the form of a deep and steep trench in the environment of alluvial deposits created by the original creek and anthropogenic fills with significantly unfavourable properties. During the work on sinking the road surface down to the final level, a part of the previously stabilised slope suffered damage and, at the same time, growing deformations were detected in the remaining undamaged part of the slope, representing an unacceptable risk in the form of the loss of stability even in this part of the excavation. For that reason the contractor proceeded to additional support in

projektu zajištění jámy. Takovýmto případem byla kupříkladu sanace přístupové cesty prováděná formou hlubokého a strmého zářezu v prostředí fluviálních náplavů koryta původního potoka i antropogenních navážek značně nepříznivých geotechnických vlastností. V průběhu zahlubování cesty na finální úroveň zde došlo k porušení části již zajištěného svahu a současně byly ve zbývající neporušené části svahu zaznamenané narůstající deformace představující nepřijatelné riziko v podobě ztráty stability i této části výkopu. Z tohoto důvodu bylo v ohroženém úseku zářezu cesty bezprostředně přistoupeno k jeho dodatečnému zajištění v podobě navýšení počtu dostatečně dlouhých injektovaných IBO kotev, po kterém došlo k postupnému ustálení pozorovaných deformací.

Výstupy inženýrskogeologické dokumentace a geotechnického monitoringu byly využity také v případě západního a východního portálu tunelu. U západního portálu byla pro upřesnění geotechnických podmínek výstavby v první fázi využita dokumentace hloubení horní svahované části jámy a vrtů pro piloty pro zajištění jámy v místě obou želv. Později pak dokumentace dalšího zahlubování jámy, realizace vrtů pro lanové kotvy zajištění čelních štětovnicových stěn portálu a samotné profilování želv. Výstupy dokumentace umožnily ověřit mocnost a charakter kvartérních pokryvných útvarů (především rozsah pro ražbu velmi nepříznivých terasových písčitých štěrků), úroveň povrchu horninového podloží, hloubkový dosah jeho zvětrání i zastoupení jednotlivých litologických typů hornin. Z dokumentace vrtů pro piloty byly ověřeny i předpokládané hydrogeologické poměry. Pro upřesnění geologických poměrů v úvodním úseku ražeb byla částečně využita i dokumentace několika přilehlých výkopů pro založení stožárů vysokého napětí.

Ražba tunelu

V případě výstavby jednotlivých tunelových trub jsou výsledky komplexní činnosti geotechnického monitoringu a inženýrskogeologické dokumentace využívány pro adaptaci technologie a postupu ražeb na skutečně zastižené geotechnické podmínky a související odezvu horninového masivu na provedený stavební zásah. Tento proces soustavného přizpůsobování výstavby, na kterém je nakonec metoda NRTM založena, ve výsledku vede k maximálnímu urychlení postupu ražeb a využití optimálního vyztužení výrubů (tj. není předimenzované ani poddimenzované), a to vše při zajištění celkové bezpečnosti výstavby.

U portálových úseků většiny tunelových trub volba zajištění výrubu a postupu ražby z velké části vycházela právě z vyhodnocení inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů ověřených v průběhu hloubení a zajišťování stavebních jam. V případě ražeb ze střední portálové jámy bylo na základě zhodnocení geotechnických podmínek výstavby kupříkladu přistoupeno k dodatečnému zajištění úvodního úseku ražby severní tunelové trouby za želvou. V tomto úseku tunelu, nacházejícího se v prostoru koryta původního potoka, byla v části jeho nadloží ověřena jen omezená poloha silně zvětralé a rozvolněné horniny a také mocné polohy zvodnělých kvartérních uloženin. Pro zvýšení bezpečnosti ražby v tomto rizikovém úseku bylo proto přistoupeno k dodatečnému zajištění nadloží kaloty pomocí ocelové výztuže a výplňové injektáže, která vedla jak ke zlepšení geotechnických parametrů kvartérních zemin i zvětralinové zóny horninového masivu, tak i ke snížení přítoků podzemní vody do tunelu. U ostatních tunelových trub bylo vzhledem k poměrně příznivým geotechnickým podmínkám naopak přistoupeno k částečné redukci původně projektovaného zajištění úvodního úseku ražeb. Ražba pod ochranou mikropilotového deštníku byla využita jen

the form of the number of sufficiently long grouted IBO anchors, after which the observed deformations came to rest.

The outputs of the engineering geological and geotechnical monitoring were in addition used in the case of the western and eastern tunnel portals. In the case of the western portal, the documentation of the excavation of the upper sloped part of the pit and boreholes for piles for the stabilisation of the pit in the location of both "tortoises" was used in the first phase for refining the geotechnical conditions of the construction. Later it was the documentation of subsequent deepening of the pit, realisation of boreholes for cable anchors for the stabilisation of the soldier beam and lagging front walls of the portal and profiling of the "tortoises". The documentation outputs allowed for verifying the thickness and character of the Quaternary superficial deposits (first and foremost of the extent of tunnelling through very unfavourable terrace sandy gravels), the bedrock level, the depth of its weathering and the representation of individual lithological types of rock. The anticipated hydrogeological conditions were also verified on the basis of the documentation of boreholes. The geological conditions in the initial tunnelling section were in addition verified partially using the documentation of several adjacent pits excavated for foundations of high tension distribution poles.

Tunnel excavation

In the case of the construction of individual tunnel tubes, the results of comprehensive activities of the geotechnical monitoring and the engineering geological documentation are used for adapting the excavation technique and advance rate to actually encountered geotechnical conditions and the associated ground mass response to the particular construction intervention. This process of continual adaptation of the construction work, which the NATM is eventually based on, leads in its consequence to the maximum acceleration of the excavation advance rate and the use of optimum excavation support (i.e. that it is neither exaggerated nor insufficient), all of that with the overall construction safety secured.

Regarding the portal sections of the majority of tunnel tubes, the selection of the excavation support and the advance rate was based on the assessment of engineering geological and hydrogeological conditions verified during the course of the excavation and stabilisation of construction pits. In the case of tunnelling from the mid-point portal pit, the contractor, for example, proceeded to install additional support in the initial section of the excavation of the northern tunnel tube behind the "tortoise" on the basis of the assessment of geotechnical conditions for the construction. In this tunnel section, which is located in the area of the original creek bed, only a limited layer of heavily weathered and loosened rock and thick layers of water-bearing Quaternary deposits was verified in a part of the tunnel overburden. For that reason the contractor proceeded to install additional support of the top heading overburden by means of steel reinforcement and consolidation grouting with the aim of improving the excavation safety. This measure led to the improving the geotechnical parameters of the Quaternary soils and the weathered zone of the bedrock and to reducing groundwater flows into the tunnel. On the contrary, as far as the other tunnel tubes are concerned, the contractor, taking into consideration the relatively favourable geotechnical conditions, proceeded to partially reduce the originally designed support in the initial excavation section. The excavation under the protection of canopy tube pre-support was applied only in the case of driving the southern tunnel tube to the west, where Quaternary soils and heavily weathered and loosened sub-grade were encountered in the initial section in the top heading crown (Fig. 6).

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 6 Zahájení ražby jižní tunelové trouby ze střední části západním směrem pod ochranou mikropilotového deštníku

Fig. 6 Commencement of excavation of the southern tunnel tube from the mid-point part towards the west, under the protection of canopy tube pre-support

v případě ražby jižní tunelové trouby západním směrem, kde byly v přístropí kaloty v úvodním úseku zastiženy kvartérní zeminy i silně zvětralé a rozvolněné podloží (obr. 6).

Také v případě ražeb obou tunelových trub ze západního portálu bylo na základě ověření inženýrskogeologických poměrů úvodního úseku ražeb za želvami přistoupeno k redukci původního zajištění přístropí tunelu. Tato změna projektu vycházela zejména z upřesnění výskytu poloh nesoudržných terasových štěrků, které byly původně v profilu ražby a nadloží tunelu předpokládané v mnohem větším rozsahu a mocnosti. Vzhledem k těmto skutečnostem bylo namísto původně uvažovaného mikropilotového deštníku přístropí úvodního úseku ražby obou trub zajištěno pouze pomocí předražených ocelových profilů Union a jehel. K nahrazení původně projektovaného mikropilotového deštníku systémem jehel osazovaných do cementové zálivky bylo na základě upřesněných inženýrskogeologických podmínek přistoupeno i v případě ražby jižní tunelové trouby z východního portálu.

V průběhu ražby jednotlivých tunelových trub jsou výsledky geotechnického monitoringu a inženýrskogeologické dokumentace využívány především pro volení optimálního postupu ražby a zajištění výrubu, které je specifikované jednotlivými vystrojovacími třídami NRTM. K volbě vystrojovací třídy jsou využity zejména výsledky konvergenčního měření a výstupy nepřetržité dokumentace ražeb zahrnující základní popis zastižených horninových typů, četnosti a charakteru diskontinuit, intenzity přítoků podzemní vody nebo hodnocení stability nezajištěného výrubu. Návrh volby vystrojovací třídy provádí zhotovitelská firma HOCHTIEF CZ a.s. společně se zástupci společnosti 3G Consulting Engineers s.r.o., která pro zhotovitele na stavbě provádí trvalý geotechnický dohled ražeb, a zástupci společnosti ARCADIS CZ a.s. provádějící pro zhotovitele geotechnický monitoring.

V rámci doposud vyražené části tunelu byly nejtěžší vystrojovací třídy 6.1, 6.2, 6.3 a MP1 využité pouze omezeně v úvodních úsecích ražeb obou tunelových trub ze západního portálu i střední portálové jámy a ražby jižní tunelové trouby z východního portálu. Tyto úseky nejméně příznivých geotechnických podmínek jsou charakteristické především velmi nízkým horninovým nadložím a výskytem silně až zcela zvětralých a rozvolněných hornin v profilu ražby, v přístropí výrubu pak často až charakteru zeminy s pozvolným přechodem do nadložních kvartérních uloženin (obr. 7).

The original support of the top heading was also reduced on the basis of the verification of engineering geological conditions in the initial section of the excavation behind the "tortoises" in the case of driving both tunnels from the western portal. This design change was based mainly on the adjustment of the occurrence of cohesionless terrace gravels, which were originally expected to be inside the excavation profile and tunnel overburden to much greater extent and with much greater thickness. With respect to these facts, the top heading of the initial section of the excavation of both tunnel tubes was supported only with forepoling using Union steel profiles and spiles instead of the originally planned canopy tube pre-support. The originally designed canopy tube pre-support was replaced on the basis of refined engineering geological conditions with a system of spiles inserted into cement grout even in the case of the excavation of the southern tunnel tube from the eastern portal.

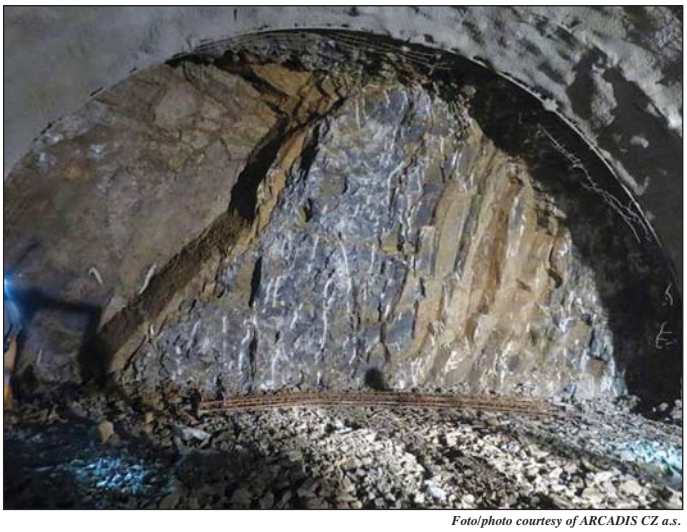
During the course of the excavation of individual tunnel tubes, the results of the geotechnical monitoring and engineering geological documentation are used mainly for selecting the optimum excavation advance rate and the excavation support, which are specified by individual NATM excavation classes. The NATM excavation support classes are determined first and foremost with respect to the results of convergence measurements and outputs of the continual documentation of the excavation comprising the basic description of ground types encountered, frequency and character of discontinuities, groundwater inflow rates or the assessment of stability of unsupported excavation. The NATM excavation classes are proposed by HOCHTIEF CZ a.s., the contractor, jointly with representatives of 3G Consulting Engineers s.r.o., who carry out permanent geotechnical supervision over the excavation, and representatives of ARCADIS CZ a.s., who carry out geotechnical monitoring for the contractor.

The most difficult excavation support classes applied within the framework of the till now completed excavation were 6.1, 6.2, 6.3 and MP1. They were used only to a limited extent in the initial sections of excavation of both tunnel tubes from the western portal and the mid-point portal pit and the excavation of the southern tunnel tube from the eastern portal. These sections with least favourable conditions are characterised

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 7 Ražba v prostředí silně až zcela zvětralých slínovců a pískovců – vystrojovací třída VT 6.3 s délkou záběru 1 m

Fig. 7 Tunnelling through the environment formed by heavily to completely weathered marlite and sandstone – excavation support class VT6.3 with the excavation round length of 1m



Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 8 Ražba v prostředí středně až slabě zvětralých pískovců a slínovců – vystrojovací třída VT 5.1 s délkou záběru 1,7 m

Fig. 8 Tunnelling through the environment formed by medium to weakly weathered sandstone and marlite – excavation support class VT5.1 with the excavation round length of 1.7m

Vystrojovací třídy 5.1 a 5.2 byly použité zejména při ražbě dlouhého úseku v západní části tunelu s relativně nízkým horninovým nadložím (do 10–15 m). V profilu výrubu zde byly zastižené převážně střídající se polohy středně až slabě zvětralých pískovců, prachovců a jílovců, s poměrně příznivou orientací vrstevních ploch, jen s lokálním a omezeným tektonickým porušením a přítoky podzemní vody (obr. 8). Tyto vystrojovací třídy pak byly v menší míře využity i při ražbě obou tunelových trub ze středové jámy směrem na východ a při ražbě jižní tunelové trouby z východního portálu. V těchto úsecích byly v profilu výrubu zastiženy jednak středně až silně zvětralé a tektonicky porušené polohy slínitých slepenců s častými polohami pískovců a slínovců, případně polohy slabě zvětralých slínovců a pískovců s nepříznivou orientací vrstevních ploch a intenzivními přítoky podzemní vody.

Vystrojovací třída 4.2 byla využita především při ražbě obou tunelových trub ze střední jámy směrem na východ, kde byly ražbou zastiženy polohy středně až slabě zvětralých slepenců s jílovito-slínitým tmelem, s nepravidelnými polohami slabě zvětralých pískovců a slínovců, s jen lokálním tektonickým porušením a slabými přítoky podzemní vody (obr. 9), případně i polohy silněji zvětralých a porušených slepenců s tmelem vápnito-písčitým. V menší míře pak byla tato třída využita i při ražbě obou tunelových trub zhruba ve střední části úseku mezi západním portálem a středovou jámou v oblasti přechodu vrstevního sledu slínovců a pískovců do poloh slínitých a vápnito-písčitých slepenců.

Nejlehčí vystrojovací třída 4.1 byla využita zejména v úseku ražby obou tunelových trub ze střední jámy směrem na západ, kde byly v profilu výrubu zastiženy výhradně masivní a homogenní slabě zvětrané a neporušené slepence s vápnito-písčitým tmelem se střední až vysokou pevností (obr. 10). Tato vystrojovací třída pak byla částečně využita i při ražbě obou tunelových trub ze středové jámy směrem na východ v úsecích s výskytem slabě zvětralých slepenců s jílovito-slínitým tmelem bez významného tektonického porušení, poloh slínovců a pískovců, i přítoků podzemní vody.

Podrobný popis i předpokládané zastoupení jednotlivých vystrojovacích tříd NRTM podle realizační dokumentace jsou uvedeny v časopisu Tunel 3/2015 (Mařík, 2015). Ve srovnání s předpoklady průzkumných prací bylo v doposud vyraženém úseku tunelu ve větší míře využito lehčích tříd s menším počtem vystrojovacích prvků a delším záběrem. Tato skutečnost byla ovlivněná především omezenějším rozsahem výraznějších tektonických poruch, menším výskytem intenzivních přítoků podzemní vody mainly by very low overburden and the existence of heavily to completely weathered rock inside the excavation profile, up to the character of soil in the top heading, passing slowly to the overlaying Quaternary deposits (see Fig. 7).

Excavation support classes 5.1 and 5.2 were used mainly during the excavation of the long section in the western part of the tunnel with relatively shallow overburden (up to 10 – 15m). Mostly alternating layers of moderately to weakly weathered sandstone, siltstone and mudstone with a relatively favourable trend of bedding planes and only local and limited tectonic disturbance and groundwater inflows were encountered inside the excavation profile in this location (see Fig. 8). These excavation support classes were used to a smaller extent even during the course of the excavation of both tunnel tubes from the mid-point construction pit to the east and during the excavation of the southern tunnel tube from the eastern portal. Medium to heavily weathered and tectonically disturbed layers of marlaceous conglomerates with frequent sandstone and marlite layers or layers of weakly weathered marlite and sandstone with an unfavourable trend of bedding planes and intense groundwater inflows were encountered inside the excavation profile in these sections.

Excavation support class 4.2 was used mostly during the excavation of both tunnel tubes from the mid-point excavation pit to the east, where the excavation encountered layers of medium to weakly weathered conglomerates with clayey-marlite cement, with irregular layers of weakly weathered sandstone and marlite, only locally tectonically disturbed, and weak inflows groundwater (see Fig. 9), eventually also layers of more heavily weathered and disturbed conglomerates with calcareous-sandy cement. This class was used to a smaller extent during the course of the excavation of both tunnel tubes approximately in the middle part of the section between the western portal and the mid-point pit in the area of the transition of the sequence of marlite and sandstone beds to marly and calcareous-sandy conglomerates.

The easiest excavation support class 4.1 was used mainly in the section of excavation of both tunnel tubes from the mid-point pit to the west, where only massive and homogeneous, weakly weathered and undisturbed conglomerates with calcareous-sandy cement with medium to high strength were encountered inside the excavation profile (see Fig. 10). This excavation support class was partially used even during the excavation of both tunnel tubes from the mid-point pit to east in the sections where weakly weathered conglomerates with clayey-marly cement without significant tectonic disturbance, layers of marlite and sandstone and groundwater inflows were encountered.

A detailed description and assumed representation of individual NATM excavation support classes is presented in TUNEL journal issue 3/2015 (Mařík, L). In comparison with assumptions of surveys, lighter classes with a smaller number of support elements and longer excavation round lengths were used in the tunnel section excavated till now. This fact has been affected first of all by the more limited extent of more significant tectonic disturbances, a smaller occurrence of intense groundwater inflows and more favourable deformational behaviour of the ground mass.

Comprehensive monitoring of ground mass response to excavation and its interaction with a primary lining is carried out at several main measurement stations installed in characteristic excavation sections specified by the overburden thickness, geotechnical conditions or the excavation profile. In addition to standard convergence measurements following the

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 9 Ražba v prostředí slabě zvětralých slínitých slepenců a jemnozrnných pískovců až prachovců – vystrojovací třída VT 4.2 s délkou záběru 2,2 m

Fig. 9 Tunnelling through the environment formed by weakly weathered marly conglomerates and fine-grained sandstone to siltstone – excavation support class VT4.2 with the excavation round length of 2.2m

Foto/photo courtesy of ARCADIS CZ a.s.

Obr. 10 Ražba v prostředí masivních vápnito-písčitých slepenců vysoké pevnosti – vystrojovací třída VT 4.1 bez použití výztužného rámu s délkou záběru 3 m

Fig. 10 Tunnelling through the environment formed by massive high-strength calcareous-sandy conglomerates – excavation support class VT4.1 without using support frames, with the excavation round length of 3m

i příznivějším deformačním chováním horninového masivu.

Komplexní sledování odezvy horninového masivu na ražbu i jeho interakce s primárním ostěním je prováděno na několika hlavních měřičských profilech, které jsou umístěny do charakteristických úseků ražeb specifikovaných mocností nadloží, geotechnickými podmínkami nebo profilem výrubu. Kromě standardního konvergenčního měření sledujícího deformace zajištěného líce výrubu jsou na těchto profilech v tunelu osazovány radiální extenzometrické vrty pro zhodnocení dosahu deformační oblasti kolem výrubu a tlakové podušky sledující napětí v primárním ostění i tlak horniny na ostění. V případě úseků ražeb s nižším nadložím jsou pak deformace horninového masivu v prostoru poklesové kotliny sledovány pomocí inklinodeformetrických vrtů a nivelačního měření povrchu terénu. Výstupy měření na těchto sdružených profilech slouží zejména k ověření geotechnického modelu systému „tunel-hornina“ a jsou také jedním z podkladů pro návrh sekundárního ostění.

Vliv geotechnických podmínek ražby na přetváření horninového masivu a interakci s primárním ostěním byl velmi dobře pozorován například na hlavním měřičském profilu HMP2 umístěným zhruba 200 m od západního portálu tunelu. V místě tohoto profilu bylo ražbou severní tunelové trouby zastiženo významné poruchové pásmo představující horší geotechnickou kvalitu masivu. Ražba jižní tunelové trouby naopak procházela horninovým prostředím v podobě střídajících se poloh pískovců a slínovců bez výrazného porušení. Rozdíly mezi podmínkami ražby jednotlivých tunelových trub pak byly zachycené výsledky všech použitých metod monitoringu – deformace primárního ostění, napětí v primárním ostění, tlak horniny na primární ostění, dosah rozvolněné zóny horniny nad tunelem nebo sedání povrchu terénu (obr. 11).

ZÁVĚR

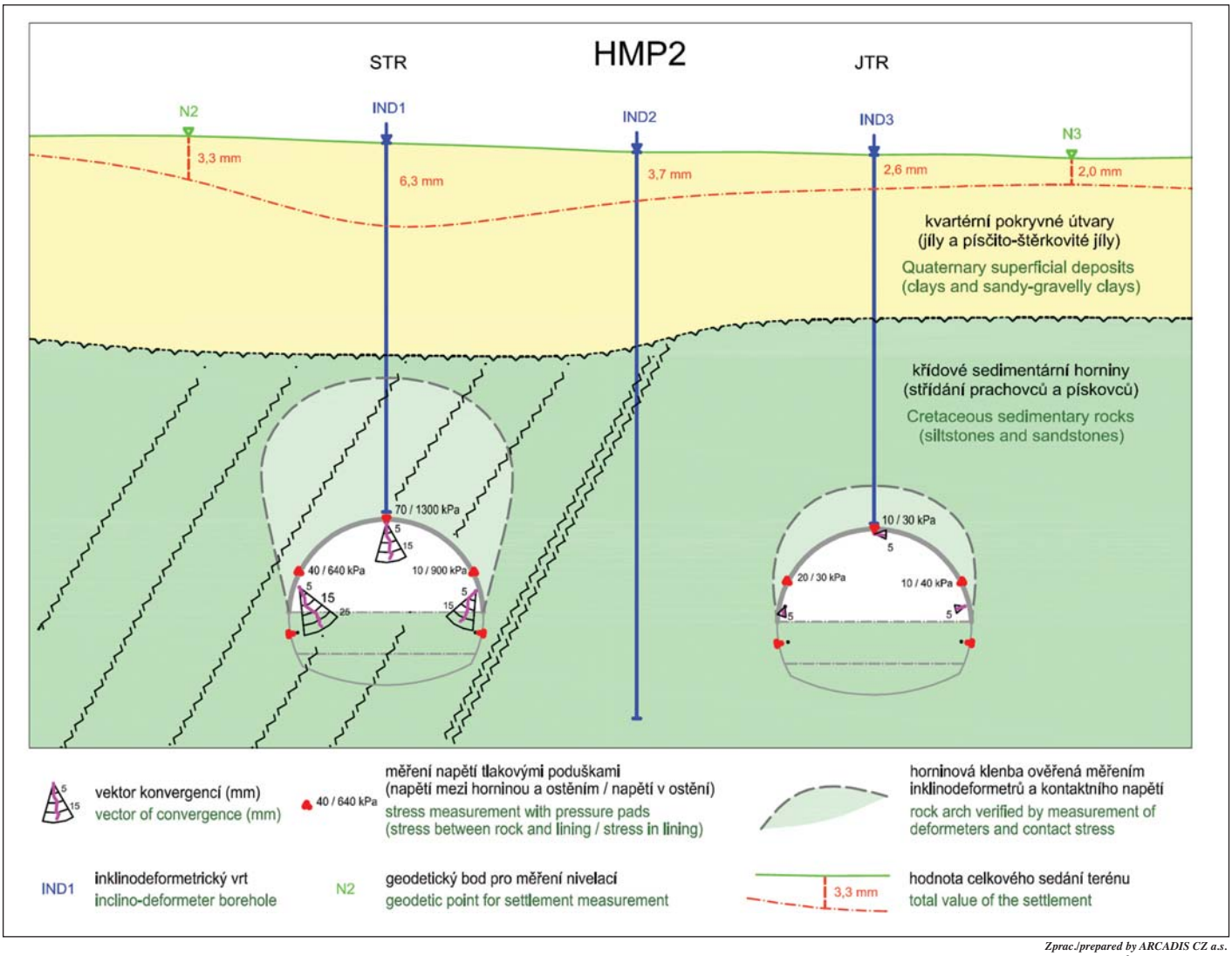
V průběhu dosavadní výstavby tunelu Považský Chlmec nového úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) bylo v případě hloubených objektů i samotných ražeb názorně ukázáno, že význam geotechnického monitoringu a inženýrsko-geologické dokumentace spočívá především v umožnění jejich maximální adaptace na skutečně zastižené geotechnické podmínky a související interakci stavebních konstrukcí s okolním horninovým prostředím. Tato optimalizace výstavby se ve výsledku projeví jak zvýšením celkové bezpečnosti a snížením geotechnic-

deformations of the supported surface of the excavated opening, radial extensometer boreholes for assessing the reach of the deformational area around the excavation and pressure cells following the stress in the primary lining and pressure on the lining are installed in these stations. In the case of the excavation of sections with lower overburden, ground mass deformations inside the settlement trough are monitored by means of inclinodeformeter boreholes and levelling of the terrain surface. Outputs of measurements at these combined stations are used in particular for verifying the “tunnel-ground-system” geotechnical model and are also one of source documents for the design of the secondary lining.

The influence of geotechnical excavation conditions on the deformation of ground mass and the interaction with the primary lining was very well observed, for example, at the main measurement station HMP2, which is located approximately 200m from the western portal of the tunnel. A significant fault zone representing worse quality of the mass was encountered by the excavation of the northern tunnel tube in the location of this station. In the contrary, the excavation of the southern tunnel tube passed through ground environment in the form of alternating layers of sandstone and marlite without significant disturbance. Differences between excavation conditions for individual tunnel tubes were registered by the results of all monitoring methods applied – deformations of the primary lining, stress in the primary lining, ground pressure on the primary lining, the reach of the loosened zone of ground above the tunnel or the settlement of the terrain surface (see Fig. 11).

CONCLUSION

It has been clearly proved during the course of the tunnel construction of the Považský Chlmec tunnel construction completed till now on the new Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section of the D3 motorway in the case of cut-and-cover structures and tunnelling operations themselves that the importance of geotechnical monitoring and engineering geological documentation lies primarily in enabling maximum adaptation of the excavation to actually encountered geotechnical conditions and the related interaction of structures with surrounding ground environment. This construction optimisation manifests itself in the result both by improved overall safety and reduced



Zprac./prepared by ARCADIS CZ a.s.

Obr. 11 Výsledky geotechnického měření na profilu HMP2 v oblasti s odlišnými geotechnickými podmínkami ražby jednotlivých tunelových trub po průchodu kaloty
Fig. 11 Results of geotechnical measurement in HMP2 station in an area with different geotechnical excavation conditions in individual tunnel tubes after the passage of the top heading

kých rizik, tak zejména urychlením postupu prací a snížením jejich nákladů. Přínos geotechnického monitoringu k optimalizaci výstavby je v případě tunelu Považský Chlmec i okolních objektů nového úseku dálnice D3 navíc umocněn skutečností, že realizace probíhá podle žluté knihy FIDIC. Při hodnocení dosavadního průběhu výstavby lze s potěšením konstatovat, že efektivní využití výstupů geotechnického monitoringu je umožněno zejména díky úzké a operativní spolupráci geologa, geotechnika, projektanta a zhotovitele stavby.

Mgr. JIŘÍ TLAMSA, jiri.tlamsa@arcadis.com,
Mgr. ANNA VOJTĚCHOVSKÁ, Ph.D.,
anna.vojtechovska@arcadis.com, ARCADIS CZ a.s.

Recenzovali / Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler,
Ing. Josef Rychtecký

geotechnical risks as well as acceleration of the advance rate and reduction of costs. The contribution of geotechnical monitoring to the optimisation of the construction is, in the case of the Považský Chlmec tunnel and adjacent structures on the new section of the D3 motorway, in addition enhanced by the fact that the realisation proceeds in accordance with the FIDIC Yellow Book. When the current construction progress is to be assessed, it is possible to state with pleasure that effective use of outputs of geotechnical monitoring is possible primarily owing to the close and operative collaboration of the construction geologist, geotechnician, designer and contractor.

Mgr. JIŘÍ TLAMSA, jiri.tlamsa@arcadis.com,
Mgr. ANNA VOJTĚCHOVSKÁ, Ph.D.,
anna.vojtechovska@arcadis.com,
ARCADIS CZ a.s.

LITERATURA / REFERENCES

HOLEŠA, Š. et al. *Záverečná správa doplňujúcieho inžinierskogeologického prieskumu, Diaľnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), km 6,850-11,100 časť B – Tunel Považský Chlmec*. GEOFOS, s. r. o., Žilina, December 2006

ARCADIS CZ a. s. *Výsledky geotechnického monitoringu výstavby nového úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno)*. Žilina, 2014–2015

MAŘÍK, L. Tunel Považský Chlmec na dálnici D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) od projektu k realizaci. *Tunel*, 2015, roč. 24, č. 3, s. 88-103