

GEOLOGICKÉ SLEDOVÁNÍ MECHANIZOVANÝCH TBM RAŽEB NA ÚSEKU KAT2 TUNELU KORALM

GEOLOGICAL MONITORING OF TBM DRIVES IN KAT2 SECTION OF THE KORALM TUNNEL

TOMÁŠ SVOBODA

ABSTRAKT

Tunel Koralm s celkovou délkou přibližně 32,9 km je nejvýznamnější konstrukcí Koralmké železnice s návrhovou rychlostí 200 km/h, která nově propojí sousedské spolkové země na jihu Rakouska Korutany a Štýrsko, konkrétně jejich hlavní zemská města Graz a Klagenfurt. Tunel prochází horským masivem Koralpe s maximální výškou nadloží přibližně 1200 m. Trasa tunelu je rozdělena do tří jednotlivých stavebních úseků KAT1, KAT2 a KAT3. Následující článek je zaměřený na úsek KAT2 délky cca 21,3 km, který především zahrnuje ražby jednokolejných traťových tunelů pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů TBM do skalních hornin, ale i pomocí NRTM, dále pak ražby nouzové stanice a tunelových propojek. Článek je zaměřen na inženýrskogeologické sledování TBM ražeb traťových tunelů, které zahrnuje dokumentaci inženýrskogeologických podmínek v nezajištěném prostoru ražeb, odběr vzorků hornin a podzemní vody, dokumentaci a vyhodnocení průzkumných předvrtů. Tato dokumentace je podkladem pro následná technická opatření, prognózy v oblasti geologické stavby, ověření a optimalizaci předstihového průzkumu a stanovení smluvně definovaných charakteristických hodnot horninového masivu.

ABSTRACT

The Koralm tunnel with the total length of approximately 32.9km is the most important structure on the Koralm railway with the design speed of 200km/h. It will newly interconnect neighbouring federal states in the south of Austria, Kärnten and Steiermark, concretely Graz and Klagenfurt, their capitals. The tunnel passes through the Koralpe mountain range with the maximum overburden height of roughly 1200m. The tunnel route is divided into three separate construction lots, KAT1, KAT2 and KAT3. The following paper is focused on the 21.3km long KAT2 section, which first of all comprises driving single-track running tunnels using full-face hard-rock TBMs, but also using the NATM, as well as the excavation of an emergency station and cross passages. The paper is focused on the engineering geological monitoring of the TBM driving of running tunnels, comprising the documentation of engineering geological conditions in the unsupported space of the excavation, the collection of samples of rock and groundwater, the documentation and assessment of pre-drilled exploratory probe holes. This documentation is the basis for subsequent technical measures, prognoses regarding the geological structure, the verification and optimisation of the advance survey and the determination of the rock mass characteristic properties to be defined by the contract.

ÚVOD

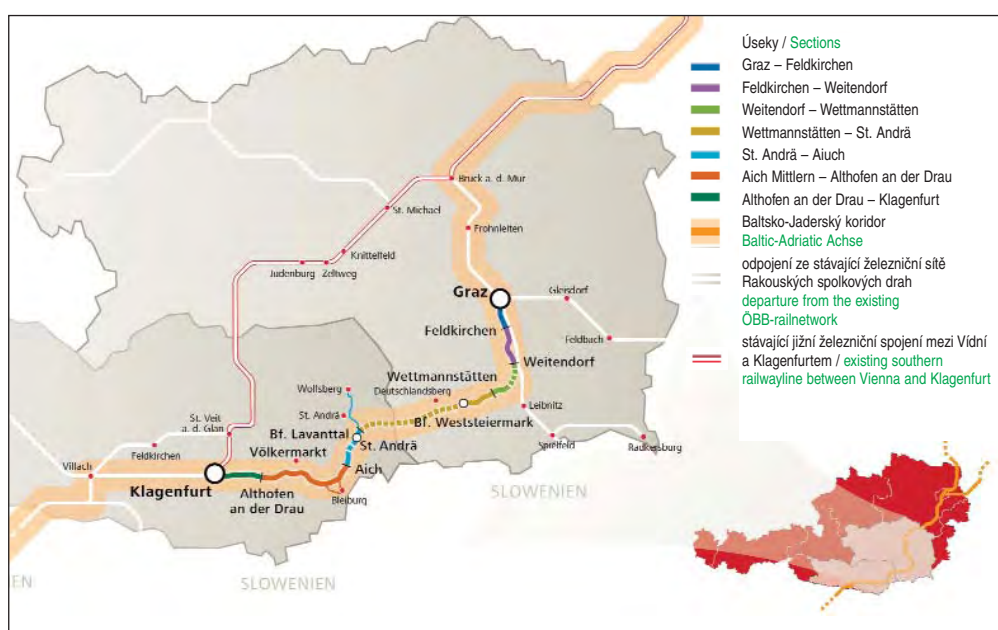
Tunel Koralm je součástí koralmké železnice o délce přibližně 127 km, která nově propojí sousedské spolkové země na jihu Rakouska Korutany (Kärnten) a Štýrsko (Steiermark), konkrétně jejich hlavní zemská města Graz a Klagenfurt. Železnice Koralm tvoří významný úsek na mezinárodním vysokorychlostním „baltsko-jaderském“ železničním koridoru (Baltisch-Adriatische Achse), který byl navržen Evropskou unií a propojuje Baltické moře se Středomořím přes města Helsinky, Gdaňsk, Varšava, Vídeň, Benátky, Boloňa. Nově vyprojektovaná trať o návrhové rychlosti 200 km/h zkrátí přepravní dobu mezi městy Klagenfurt a Graz z aktuálních 3 hodin na méně než jednu hodinu. Dokončení ražeb je plánováno na rok 2019, uvedení trasy do provozu je předpokládáno v roce 2023 (obr. 1).

TUNEL KORALM

Nejvýznamnější konstrukcí koralmké železnice je samotný tunel Koralm s celkovou délkou přibližně 32,9 km, který na hranici spolkových zemí Korutany a Štýrsko prochází horským masivem Koralpe s maximální výškou nadloží

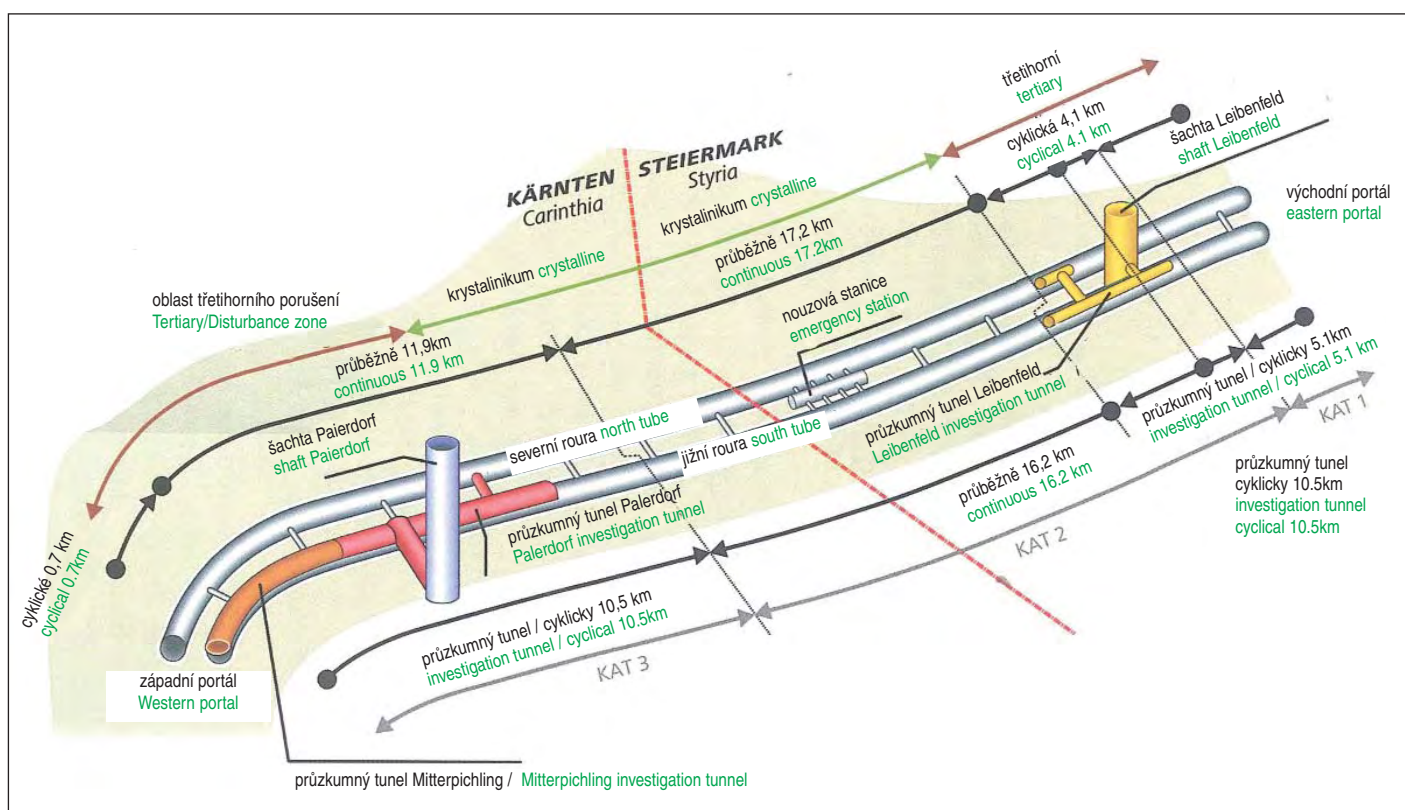
INTRODUCTION

The Koralm tunnel is part of the approximately 127km long Koralm railway, which will newly interconnect neighbouring federal states in the south of Austria, Kärnten and Steiermark, concretely



zdroj/source: ÖBB

Obr. 1 „Baltsko-jaderský“ železniční koridor na území Rakouska, úsek Graz – Klagenfurt s vyznačeným úsekem tunelu Koralm mezi městy Wettmannstätten a St. Andra
Fig. 1 Baltic-Adriatic railway axis in Austria, the Graz – Klagenfurt section, with the Koralm tunnel section between the towns of Wettmannstätten and St. Andra marked in it



Obr. 2 Rozdělení tunelu Koralm do základních úseků, zobrazení průzkumných podzemních děl a vymezení konvenčních a mechanizovaných ražeb
 Fig. 2 Koralm tunnel division into basic sections, representation of underground exploratory workings and specification of conventional and mechanised drives

přibližně 1200 m. Investorem stavby je ÖBB Infrastruktur AG a následným provozovatelem budou Rakouské spolkové dráhy ÖBB. Jedná se o dva jednokolejné tunely, které jsou po 500 m propojeny tunelovými propojkami. Přibližně uprostřed tunelu je situována nouzová stanice o délce 920 m. Trasa tunelu je orientována přibližně v Z – V směru.

Trasa tunelu Koralm je rozdělena do tří základních stavebních úseků (obr. 2), na kterých působí různá sdružení dodavatelství firem, dále firmy a jejich sdružení zajišťující všechny inženýrské činnosti a individuální experti.

Úsek Koralm 1 (KAT1) je na východě vymezen portálem v údolí Fraental ve spolkové zemi Štýrsko a pokračuje do oblasti města Deutschlandsberg, před průzkumnou šachtou Leibenfeld. Tento úsek je stavebně dokončen a zahrnoval hloubené a konvenčně ražené části tunelů o délce přibližně 2,5 km v každé tunelové trubě. Ražby probíhaly v období 2010–2012. Zhotovitelem stavebních prací bylo konsorcium firem „ARGE KAT1“ zahrnující společnosti Wayss & Freytag Ingenieurbau AG a Granit GmbH.

Úsek Koralm 2 (KAT2) je vymezen od zařízení staveniště průzkumné šachty Leibenfeld směrem na východ prorážkou do stavebního úseku KAT1 a na západ do úseku KAT3. Průzkumná podzemní díla se započala v roce 2005 vyhloubením 60 m hluboké průzkumné šachty Leibenfeld a průzkumného tunelu Leibenfeld o délce cca 1,87 km. Úsek KAT2 o délce úseku přibližně 21,3 km zahrnuje ražby tratových tunelů převážně pomocí tunelovacích strojů TBM, v menším rozsahu konvenčně ražených, dále konvenční ražby nouzové podzemní stanice a tunelových propojek. Ražby na úseku KAT2 byly zahájeny v roce 2011. Zhotovitelem stavebních prací je zde konsorcium „ARGE KAT2“ společností Strabag AG a Jäger Bau GmbH, které tento úsek vysoutěžilo v roce 2010 za 570 mil. eur. Podrobnosti o úseku KAT2 jsou uvedeny v dalším textu.

Úsek Koralm 3 (KAT3) je na západě vymezen portálem v údolí Lavantal ve spolkové zemi Korutany a prorážkou do stavební části KAT2. Úsek KAT3 zahrnuje přibližně 10,6 km

Graz and Klagenfurt, their capitals. The Koralm railway forms an important section on the international high-speed railway corridor, the Baltic-Adriatic Axis, which was proposed by the European Union and which interconnects the Baltic Sea with the Mediterranean via Helsinki, Gdansk, Warsaw, Vienna, Venetia and Bologna. The newly designed track with the design speed of 200km/h will reduce the time of travel between Klagenfurt and Graz from the current 3 hours to less than one hour. The completion of the tunnelling operations is planned for 2019; bringing the line into service is expected in 2023 (see Fig. 1).

THE KORALM TUNNEL

The most important structure of the Koralm railway is the Koralm tunnel itself with the aggregated length of approximately 32.9km, passing at the border between the federal states of Kärnten and Steiermark through the Koralpe Range, with the maximum overburden height of roughly 1200m. The project owner is ÖBB Infrastruktur AG and the tunnel will subsequently be operated by Austrian Federal Railways (Österreichische Bundesbahnen, ÖBB). The tunnel consists of two single-track tunnel tubes interconnected by cross passages every 500m. An emergency station, 920m long) is located approximately in the middle of the tunnel length. The tunnel route is oriented approximately in the W – E direction.

The Koralm tunnel route is divided into the following three basic construction sections (see Fig. 2), which are carried out by various consortia of contractors. In addition, there are firms and their consortia, as well as individual experts, providing all engineering.

The Koralm section 1 (KAT1) is defined in the east by the portal in Fraental valley in the federal state of Steiermark and it continues to the area of the town of Deutschlandsberg, via the Leibenfeld exploratory shaft. The civil works on this section have been completed. They comprised cut-and-cover and conventionally driven parts of tunnels at the aggregated length of each tunnel tube of approximately 2.5km. The tunnel construction lasted from 2010 to 2012. The civil engineering contractor was done by “ARGE

konvenčních ražeb v jižní tunelové troubě a 12,1 km mechanizovaných a cca 0,7 km konvenčních ražeb v severní tunelové troubě, dále krátké hloubené úseky v oblasti povrchového přístupu Mitterpichling. Průzkumná podzemní díla byla zahájena v roce 2004 vyhloubením průzkumné šachty Paierdorf o hloubce 120 m a průměru 10 m. Z ní byly na převážném úseku jižní trouby rozraženy konvenčním způsobem průzkumné tunely o profilu kaloty budoucího tunelu (cca 48 m²), a to konkrétně průzkumný tunel Paierdorf délky cca 4,74 km a průzkumný tunel Mitterpichling délky cca 3,05 km. Počáteční úseky obou tunelových trub ze západního portálu o délce 0,7 km k přístupovému místu Mitterpichling byly vyraženy konvenčně v průběhu roku 2014. Zbývající úseky jižní tunelové trouby jsou raženy konvenčně k hranici s částí KAT2 a stávající úseky s průzkumnými tunely budou rozšířeny na plný profil tunelu. Severní tunelová trouba bude ražena mechanizovaně na úvodních cca 5 km v neogenních terciálních sedimentech pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje v módu zeminového štítu (EPB), aby následně byl stroj přestavěn na horninové TBM se štítem v předem připravené kaverně o délce 40 m. Práce byly zahájeny koncem roku 2013 a ražby započaly v lednu 2014. Zhotovitelem stavby úseku KAT3 je společnost Porr AG.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

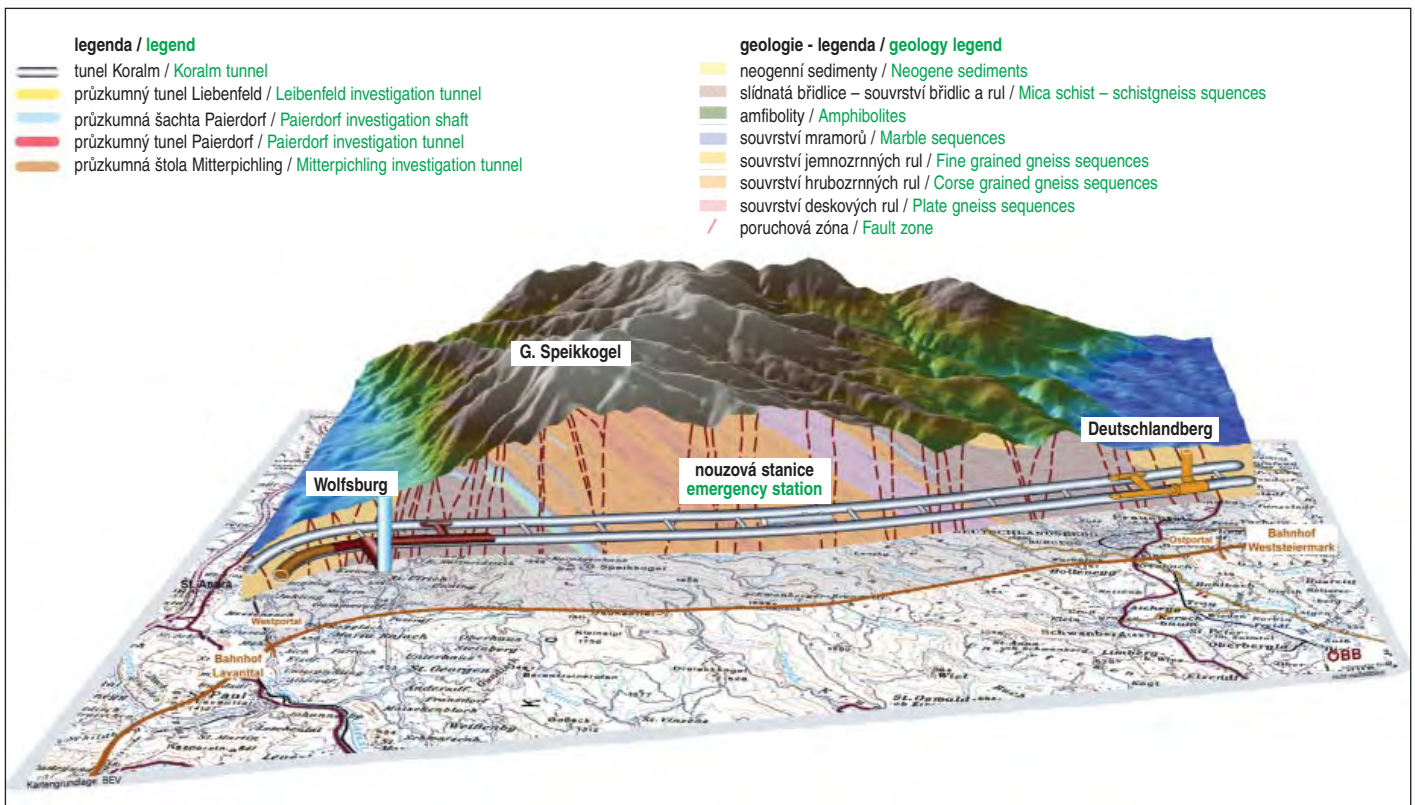
Zájmové území je v okrajových oblastech trasy tunelu tvořeno severozápadním výběžkem Panonské pánve, která je zde zastoupena mělce marinními sedimenty a dále intramontánní Lavantalskou pánví. Ze stratigrafického pohledu se jedná o sedimenty neogenního stáří. Horninové prostředí je zde tvořeno především ulehlými písky a málo zpevněnými písčitymi prachovci až hrubozrnnými pískovci. Mocnost a průběžnost jednotlivých typů hornin je velmi proměnlivá, a to především v oblasti lavantalského údolí, což vede k výrazné heterogenitě horninových podmínek v tunelu.

Převážná část trasy tunelu je však tvořena metamorfovaným sledem hornin koralmského krystalinika (obr. 3), které náleží tzv.

KAT1” consortium consisting of Wayss & Freytag Ingenieurbau AG and Granit GmbH.

The Koralm section 2 (KAT2) is constructed from the construction site facility located at the Leibenfeld exploratory shaft and is limited at the east by lot KAT1 and at the west by the breakthroughs to lot KAT3, respectively. The underground exploratory workings commenced in 2005 by excavating the 60m deep Leibenfeld exploratory shaft and driving the ca 1.87km long Leibenfeld exploratory tunnel. The about 21.3km long KAT2 section comprises the driving of running tunnels mostly by TBMs and, to a smaller extent, conventionally. Conventionally are constructed cross passages and the emergency station between the tunnel tubes. Tunnelling operations on KAT2 section commenced in 2011. The civil engineering contractor for this section was awarded to the “ARGE KAT2” consortium consisting of Strabag AG and Jäger Bau GmbH in 2010, for the cost of EURO 570 million. Details regarding KAT2 section are presented in the text below.

The Koralm 3 section (KAT3) is defined in the west by the portal in Lavanttal valley in the federal state of Kärnten and in the east by the breakthrough into construction section KAT2. KAT3 section comprises approximately 10.6km of conventional tunnelling in the southern tunnel tube and 12.1km of mechanised tunnelling and ca 0.7km of conventional driving in the northern tunnel tube; in addition, there are short cut-and-cover sections in the area of the Mitterpichling at-grade access. Exploratory underground operations started in 2004 by sinking the 120m deep and 10m-diameter Paierdorf exploratory shaft. Exploratory tunnels were driven conventionally from this shaft in the major part of the southern tunnel tube, with the cross-sections corresponding to the top heading of the future tunnel (the excavation cross-sectional area of ca 48m²), concretely the 4.74km long Paierdorf exploratory tunnel and the ca 3.05km long Mitterpichling exploratory tunnel. The initial 0.7km long sections of both tunnel tubes from the western portal to the Mitterpichling access point were driven conventionally during 2014. Remaining sections of the southern tunnel tube are driven conventionally up to the border with KAT2 part; the existing sections formed



koridenskému komplexu krystalinika Lavantalských Alp. Jde o polymetamorfní horniny křídového stáří, které jsou zastoupeny především masivními jemnozrnnými a hrubozrnnými pararulami, deskovitými rulami, břidličnatými rulami až slýdnatými břidlicemi, s polohami amfibolitů a dále s méně hojným výskytem eklogitů, mramorů, pegmatitů. V tektonických zónách se pak jedná o tektonické brekcie s často jílovitou výplní.

Z tektonického hlediska se jedná o výrazně postiženou oblast. Příkrovová stavba a ploché zvrásnění masivu je variského původu, rozdílné strukturální vlastnosti rul pak představují alpský duktilní smykový horizont. Neogenní tektonické zlomy a výzdvihy následně vedly k současnému vzhledu koralpského masivu.

Převládající směr ploch nespojitosti a poruchových pásem je SSZ – JJV směru, tedy přibližně kolmý na osu tunelu, s dalším systémem kolmým na tento směr. Plochy nespojitosti jsou převážně strmě ukloněny (50° až 90° k VSV). Převládající směr diskontinuit koresponduje s orientací lavantalského zlomu, který, co se týče tektonického vývoje oblasti, představuje významnou strukturu, na které došlo k vyzdvižení Koralpského krystalinika a uklonění směrem k východu. Tento zlom byl následně překryt sedimenty lavantalské pánve. Trasa tunelu protíná tento zlom v blízkosti západního portálu.

Výskyt podzemní vody je v úrovni tunelu vázán především na plochy břidličnatosti, polohy mramorů a tektonické poruchové zóny.

PRŮZKUMNÁ PODZEMNÍ DÍLA

V letech 2003 až 2010 byla realizována čtyři průzkumná podzemní díla v rámci podrobného inženýrskogeologického průzkumu, jehož výsledky se staly podkladem pro návrh projektu, realizační dokumentaci stavby a současně pro výběrové řízení na zhotovitele stavby. Součástí průzkumných prací byla realizace hloubené šachty a tunelu Leibenfeld v blízkosti východního portálu z důvodu ověření geologických a geotechnických podmínek kontaktu neogenních sedimentů s krystalinikem a tektonického systému ohraničujícího masiv krystalinika. Ze stejného důvodu byla realizována průzkumná šachta Paierdorf u západního portálu tunelu, a z této šachty průzkumný tunel Mitterpichling a Paierdorf, který měl za úkol upřesnit polohu a podmínky lavantalské poruchové zóny. Obě šachty v současné době slouží jako ventilační šachty a zčásti k přepravě pracovníků.

STAVEBNÍ ÚSEK KAT2

Společnost 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH (společník české společnosti 3G ConsultingEngineers s. r. o.) v pracovním konsorciu se společností PÖYRYPLC pod označením GEO KAT2 zajišťuje inženýrskogeologické sledování mechanizovaných a konvenčních ražeb tunelů na stavebním úseku KAT2 a částečně stavební dozor investora ÖBB. Geotechnický dozor investora provádí společnost Geoconsult ZT GmbH. Vzhledem k činnosti firmy 3G CE na projektu se článek dále zabývá výhradně úsekem KAT2.

Celková délka úseku KAT2 činí přibližně 31 km, z toho cca 21,3 km připadá na ražbu dvou jednokolejných tunelů, a to v případě severní tunelové trouby 17,2 km na mechanizované a 4,1 km na konvenční ražby. V případě jižní tunelové trouby pak 16,2 km na mechanizované a 5,1 km na konvenční. Dále 920 m konvenčních ražeb připadá na nouzovou stanici a v průběhu mechanizovaných ražeb jsou realizovány i příčné tunelové propojky o délce cca 40 m.

Tunely jsou navrženy převážně jako dvouplášťové, kde primární ostění je tvořeno segmentovým prstencem s rozvržením 6 + 0, dále mezilehlá deštníková izolace a sekundární ostění z monolitického betonu. V úsecích s předpokladem příznivých geologických podmínek (tvrdé, masivní ruly) je uvažováno pouze vodotěsné segmentové ostění. Standardní segmenty jsou z betonu třídy C35/45 XC4 XA1L tloušťky 35 cm, vnitřní monolitické ostění pak z betonu C25/30. Pro poruchová pásma jsou připraveny speciální

by exploratory tunnels will be enlarged to the full tunnel profile. The northern tunnel tube will be driven mechanically in the initial ca 5km long section through Tertiary Neogene sediments using a full-face EPB TBM; the machine will subsequently be overhauled to a hard rock TBM in a 40m long cavern prepared in advance. The operations commenced at the end of 2013 and tunnelling started in January 2014. The contractor for KAT 3 section is Porr AG.

GEOLOGICAL CONDITIONS

The edge regions of the tunnel route area of interest are formed by the north-western protrusion of the Pannonian Basin, which is represented there by shallow marine sediments and farther by the intramontane Lavanttal Basin. From the stratigraphical point of view, there are Neogene sediments there. The ground environment is formed mainly by compact sand and little solidified siltstone to gravelly sandstone. The thickness and persistence of individual ground types is very variable, first and foremost in the area of Lavanttal Valley, which in fact leads to the significant heterogeneity of the ground conditions in the tunnel.

Anyway, the major part of the tunnel route is formed by a metamorphosed sequence of rock types forming the Koralm crystalline complex (see Fig. 3), which is part of the so-called Koriden crystalline complex of the Lavanttal Alps. The rock types are polymetamorphosed, of the Cretaceous age and are represented mainly by massive fine-grained and coarse-grained paragneiss, tabular gneiss, schistose gneiss up to mica schist, with amphibolite interlayers and with the less ample occurrence of eclogite, marble and pegmatite. In fault zones, there are fault breccias, frequently with clayey filling.

In terms of tectonics, the area is significantly affected. The nape structure and the flat folding of the massif are of the Variscan origin; the various structural properties of the gneiss represent the Alpine ductile shear horizon. Neogene faults and structural highs subsequently led to the current appearance of the Koralpen massif.

The prevailing trend of discontinuity surfaces and fault zones is NNW – SSE, approximately perpendicular to the tunnel axis, with another system perpendicular to this direction. The discontinuity surfaces mostly steeply dip (50° to 90° ENE). The prevailing trend of discontinuities corresponds to the orientation of the Lavanttal fault, which, as far as the tectonic development of the area is concerned, represents an important structure along which the Koralpen crystalline complex got uplifted, dipping east. This fault was subsequently overlain by Lavanttal Basin sediments. The tunnel route cuts through this fault in the vicinity of the western portal.

The occurrence of groundwater at the tunnel level is bound mainly to schistosity surfaces, layers of marble and tectonic weakness zones.

Underground exploratory works

Four underground exploratory works were realised within the framework of the detailed engineering geological survey during the 2003–2010 period. The survey results became a basis for the design draft, the final design and, at the same time, for the tendering process. The realisation of the shaft and the Leibenfeld tunnel in the vicinity of the eastern portal was part of the exploratory activities. Its target was to verify geological and geotechnical conditions on the contact of Neogene sediments with the crystalline complex and the fault system bordering the crystalline complex massif. The same reason applied to the realisation of the Paierdorf exploratory shaft at the western portal of the tunnel and the Mitterpichling and Paierdorf exploratory tunnels driven from it, which were designed to refine the location and conditions of the Lavanttal Fault Zone. The two shafts currently serve as ventilation structures and, partially, for the transport of workers.

segmenty s větším množstvím výztuže, případně i z vyšší třídy betonu C50/60. Pro úseky příčných tunelových propojek jsou též navrženy segmenty s navýšeným množstvím výztuže, vyšší třídy betonu a pro velmi nepříznivé podmínky i s ocelovými trny.

Centrem stavby KAT2 je zařízení staveniště Leibenfeld, které je situováno 3,5 km západně od východního portálu na okraji města Deutschlandsberg. Zařízení staveniště zahrnuje kanceláře investora, zhotovitele, železniční napojení, dvě betonárny s napojením na výrobní zařízení segmentů a jejich skladiště, dále deponie pro uložení, přetřídění a další využití vytěženého materiálu.

Práce na úseku KAT2 byly zahájeny v roce 2011, a to nejprve realizací dvojité, rozepřené šachty hloubky 60 m a průřezu 800 m². Šachta byla vyhloubena za účelem transportu jednotlivých částí razicích strojů a nyní je využívána k dopravě materiálu (segmenty, rubanina, technický materiál, apod.). Následně byly konvenčním způsobem vyraženy obě tunelové trouby (respektive v jižní troubě rozšířen profil stávajícího průzkumného tunelu) délky cca 4 km, a to do místa startu mechanizovaných ražeb, včetně kaveren pro sestavení strojů, a do prorážky s úsekem KAT1.

Počátkem roku 2013 byly na KAT2 zahájeny mechanizované ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů TBM do skalních hornin s dvojitým štítem dodaných společností Aker–Wirth (obr. 4). Průměr řezné hlavy stroje je 9,93 m a výkon každého stroje činí 8000 kW a rotační moment 30 000 kNm. Dohromady obě TBM vyrazí 32,8 km. Současně s mechanizovanými ražbami probíhá konvenční ražba propojek mezi severní a jižní troubou. V současné době (květen 2015) bylo v jižní troubě vyraženo cca 11,1 km a v severní 11,4 km.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ SLEDOVÁNÍ

Inženýrskogeologické sledování zahrnuje především dokumentaci inženýrskogeologických podmínek v nezajištěném prostoru ražeb, odběr vzorků hornin a podzemní vody a dokumentaci a vyhodnocení průzkumných předvrtů. Dokumentace je podkladem pro následná technická opatření, prognózy v oblasti geologické stavby, ověření a optimalizace předstihového průzkumu a stanovení smluvně definovaných charakteristických hodnot horninového masivu.

Inženýrskogeologická dokumentace

Po účely prováděcího projektu na kontraktu KAT2 byla geologickým dozorem investora, společností 3G Gruppe Geotechnik Graz, připravena „Geologická (inženýrskogeologická) dokumentace“, která je rozdělena na jednotlivé dokumenty pro konvenční a mechanizované ražby. Zpracování dokumentu bylo realizováno



zdroj:source: ÖBB

Obr. 4 TBM do skalních hornin s dvojitým štítem od společnosti Aker–Wirth
Fig. 4 Double-shielded hard rock TBM manufactured by Aker–Wirth

KAT2 CONSTRUCTION SECTION

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH (a partner of the Czech company of 3G Consulting Engineers s. r. o.) and PÖYRY PLC, in a working consortium titled GEO KAT2, provide the engineering geological monitoring of the mechanised and conventional drives of tunnels within KAT2 construction section and, partially, the client's (the ÖBB) supervision. Client's geotechnical supervision is carried out by Geoconsult ZT GmbH. With respect to the activity of 3G CE on the project, the paper further deals exclusively with KAT2 section.

The total length of KAT2 section amounts approximately to 31 km. An approximately 21.3 km long part of this length falls on the excavation of two single-track tunnels, namely, in the case of the northern tunnel tube, 17.2 km of mechanised drives and 4.1 km of conventional drives. In the case of the southern tunnel tube, 16.2 km will be driven mechanically and 5.1 km conventionally. In addition, 920 m of the conventional tunnelling falls on the emergency station and approximately 40 m long cross passages are being carried out during the course of the mechanised tunnelling.

The tunnels are mostly designed as double-shell structures consisting of primary linings formed by 6+0 segmental rings, umbrella-type intermediate waterproofing and cast-in-situ secondary concrete linings. In the sections where favourable geological conditions are expected (hard, massive gneiss), only a watertight segmental lining is assumed. Standard 35 cm thick segments are produced from C35/45 XC4 XA1L grade concrete, whilst the cast-in-situ concrete lining is from C25/30 grade concrete. Special segments containing more reinforcement or produced using higher concrete grade, C50/60, are prepared for fault zones. Segments with increased content of reinforcement, using a higher concrete grade and, for the cases of unfavourable conditions, even provided with steel dowels, are designed for cross passages.

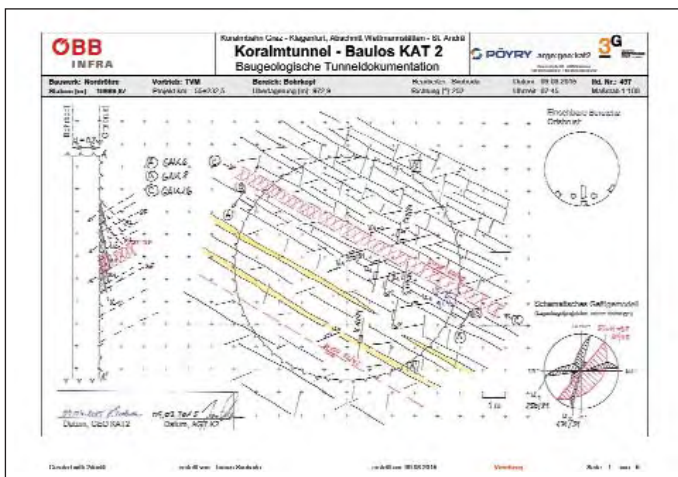
The Leibenfeld construction facility is the centre of KAT2. It is located 3.5 km west of the eastern portal, on the outskirts of the town of Deutschlandsberg. This construction facility comprises client's and contractor's offices, a railway connection, two batching plants with a connection to the segment casting yard and a segment stocking facility, yards for depositing, re-sizing and other use of muck.

The work on KAT2 section commenced in 2011, first by the realisation of a 60 m deep and 800 m² cross-section braced twin-celled shaft. The shaft was excavated for the purpose of transporting individual parts of the tunnelling machines. It is currently used for the transport of materials (segments, muck, technical materials etc.). The two ca 4 km long tunnel tubes were driven (respectively, in the southern tunnel tube, the profile of the existing exploratory tunnel was enlarged) to the starting point of the mechanised drives, inclusive of caverns for the assembly of the machines, and to the breakthrough into KAT1 section.

Mechanised tunnelling using double-shielded hard-rock TBMs supplied by Aker–Wirth commenced at KAT2 at the beginning of 2013 (see Fig. 4). The diameter of the cutterheads is 9.93 m and the power of each of the machines amounts to 8000 kW, their torque is 30,000 kNm. Both TBMs will jointly drive 32.8 km. Concurrently with the mechanised drives, the conventional excavation of cross passages proceeds between the northern tube and the southern tube. At the moment (May 2015), ca 11.1 km and 11.4 km of the excavation has been finished in the southern tube and northern tube, respectively.

ENGINEERING GEOLOGICAL MONITORING

The engineering geological monitoring comprises first of all the documentation of engineering geological conditions in



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 5 Skica příčného inženýrskogeologického řezu čelby se zakreslenými hlavními strukturálními prvky, vlevo skica podélného řezu

Fig. 5 A sketch of the engineering geological cross-section through the heading with the main structural elements drawn in it; a sketch of the longitudinal section on the left side

s cílem sjednotit definice pojmů a klasifikací a umožnit tak i přímé porovnání údajů a parametrů v geotechnické zprávě s geologickou dokumentací ražeb.

Geologická kancelář na straně investora je obsazena třemi pozicemi, hlavní geolog, asistent hlavního geologa a dokumentační geolog. Pracovní cyklus dokumentačního geologa sestává z 8 dní na stavbě a 6 dní volna. V tomto cyklu se střídají dva geologové (3G a PÖYRY). Hlavní geolog a asistent mají standardní pracovní týden.

Souběžně k dokumentaci sdružení GEO KAT2 (3G, PÖYRY) existuje geologický dohled zhotovitele, sdružení společností AGT.K2 (Dr. Plinninger Geotechnik, geo.zt gmbh, müller+hereth gmbh), které provádí vlastní tzv. konsenzuální geologickou dokumentaci, odsouhlasenou investorem stavby. Dokumentace jsou téměř identické, liší se způsobem zakreslení čelby, kdy v konsenzuální dokumentaci AGT.K2 se zakreslují výhradně fyzicky dokumentované části čelby, bez měřítka (např. bez zohlednění skutečné vzdálenosti diskontinuit), zatímco v dokumentaci GEO KAT2 se čelba extrapoluje do dalších částí se zohledněním měřítka (obr. 5).

Inženýrskogeologické sledování mechanizovaných ražeb zahrnuje dokumentaci horninového prostředí následujících oblastí:

Oblast řezné hlavy: především dokumentace skrze otvory v řezné hlavě pro účely oprav a údržby hlavy tzv. „Mannlöcher“ – kruhové průřezy o průměru cca 80 cm (obr. 6a); dále skrze otvory začističových dlát (obr. 6b) a otvory řezných disků.

Oblast teleskopického štítu: otvory ve štítu tzv. „geologická okna“, která jsou umístěna přibližně 5 metrů za řeznou hlavou; v případě zatažení teleskopického štítu dokumentace kompletního horninového prstence ve vzdálenosti cca 3 m za čelbou.

Otvory v segmentech: dokumentace skrze otvory v segmentech prvního prstence za štítem (otvory v segmentech jsou osazeny závitem s víkem a slouží k injektáži prostoru mezi prstencem a horninovým masivem) (obr. 6c).

Dokumentace rubaniny na přepravním pásu před první drtičkou

Dokumentace čelby v prostoru řezné hlavy představuje nejdůležitější referenční oblast pro stanovení procentuálního zastoupení horninových typů a celkové posouzení chování horninového masivu při ražbě. Zbývající oblasti pak slouží jako doplňující podklad pro ověření podmínek dokumentovaných na čelbě, dalšího vývoje chování nezajištěného horninového masivu podél štítu a případně k ověření dat z razicího stroje. Výše uvedené typy dokumentace zaujmají ve zpracování dokumentačních listů vlastní části.

unsupported excavated spaces, collecting samples of rock and groundwater and the documentation and assessment of pre-drilled exploratory boreholes. The documentation provides a basis for subsequent technical measures, prognoses in the field of the geological structure, the verification and optimisation of the exploration ahead of the excavation face and the determination of the characteristic properties of the ground mass to be defined by the contract.

ENGINEERING GEOLOGICAL DOCUMENTATION

“The geological (engineering geological) documentation” was prepared by client’s geological supervision, the company of 3G Gruppe Geotechnik Graz, for the needs of the final design for the KAT2 contract. It is divided into individual documents for conventional and mechanised tunnelling. The document was carried out with the aim of unifying the definitions of terms and classifications, thus allowing even for the direct comparison of the data and parameters contained in the geotechnical report with the geological documentation of the drives.

The client’s office of geology employs three positions – the main geologist, main geologist’s assistant and a documentation geologist. The documentation geologist’s working cycle consists of 8 days spent on site and 6 days off. Two geologists alternate in this cycle (3G and PÖYRY). The main geologist and his assistant have a standard working week.

Contractor’s geological supervision performed by the AGT.K2 consortium (Dr. Plinninger Geotechnik, geo.zt gmbh, müller+hereth gmbh) exists in parallel to the documentation carried out by GEO KAT2 consortium (3G, PÖYRY). It carries out its own so-called “consensual” geological documentation approved by the project owner. The documentations are nearly identical. They differ in the method of plotting the excavation face, where exclusively physically documented parts of the face are plotted without scaling (e.g. without taking actual spacing of discontinuities into consideration) in the AGT.K2 consensual documentation, whilst the face is extrapolated into other parts, taking the scale into account, in the GEO KAT2 documentation (see Fig. 5).

The engineering geological monitoring of mechanised drives comprises the documentation of the ground environment in the following areas:

The cutterhead area: it is first of all the documentation carried out through openings in the cutterhead used for repairs and maintenance of the cutterhead (the so-called Mannlöcher), i.e. circular man-holes ca 80cm in diameter (see Fig. 8a); in addition it is carried out through gates for the trimming cutters (see Fig. 6b) and gates for the disk cutters.

The telescopic shield area: holes in the shield, the so-called “geological windows”, which are located approximately 5m behind the cutterhead; in the case of the telescopic shield retracted; the geological documentation of a complete ring of rock ca 3m behind the excavation face.

Openings in segments: the documentation through holes in the segments forming the first lining ring behind the shield (the ports in the segments are provided with fittings with inner threads and lids and they serve to injecting grout into the annulus between the ring and the rock mass) (see Fig. 6c).

Documentation of muck on the belt conveyor before the initial crusher

The documentation of the heading in the space of the cutterhead represents the reference part most important for the determination of the proportional representation (percentage) of ground types and the overall assessment of the rock mass behaviour during the excavation. The remaining areas are used as supplementary bases for the verification of the conditions

Ohledně stručného popisu dokumentace ražby každý list obsahuje obecné informace o raženém díle. Na prvním listu je ručně kreslená skica dokumentovaná a dále prostorově interpretované čelby. Druhý list obsahuje zastížené a procentuálně vymezené horninové typy. Těch je v rámci projektu KAT2 a ražeb týkajících se hornin krystalinika vymezeno 27 typů, a to podle: anizotropie, stupně rozpukání horninového masivu, jednoosé pevnosti (UCS), stupně zvětrání, případně výskytu krasových jevů a v případě zastižení tektonických poruchových zón a pásem charakter materiálu jejich výplně. Dále obnáší vyznačení horninových typů směrodatných pro chování nezajištěného výrubu při ražbě (včetně tvorby nadvýmětů), obecný geologický popis, strukturální charakteristiky horninového masivu, přítomnost a charakter podzemní vody, lepivost na čelbě a řezné hlavě a další poznámky k ražbě. Podrobně jsou následně popsány jednotlivé horninové typy (tj. například vzdálenost ploch břidličnatosti, blokovitost masivu, rozevřenost puklin, detailní litologie) a zaříděna využitelnosti rubaniny (tj. přiřazení materiálové třídy, ze které vyplývá transport na příslušnou deponii a odpovídající zpětné využití). Dále charakteristika zdokumentovaných ploch odlučnosti (typ diskontinuity, případně systém diskontinuit, vzdálenost, drsnost, zvlnění, rozevření, výplň, povlaky). Následující listy jsou zaměřeny na fotodokumentaci výše uvedených oblastí. Poslední list je dokumentace rubaniny (foto, popis – geologický, zrnitostní, využitelnost atd.).

Inženýrskogeologická dokumentace in-situ

Inženýrskogeologická dokumentace ražeb probíhá v obou tunelových troubach každý den ráno, a to jak geologem zhotovitelem, tak investorem. Přijaté řešení plyne z důvodu ověření geologické situace jednotlivými stranami a současně splňuje podmínky bezpečnosti. Společně s geology se dokumentace účastní geotechnik a stavební dozor za investora a dále stavbyvedoucí a technik TBM za zhotovitele.

Vlastní průběh dokumentace in-situ začíná v 7 hodin ráno odjezdem důlního vlaku z šachty na čelbu jednoho z tunelů. V současné době cesta zabere cca 40 min jízdy. Pokud nedojde k zastižení technologické pauzy (např. výměna řezných disků, realizace průzkumného předvrtu, apod.), je možné okamžitě zdokumentovat rubaninu na přepravním pásu před drtičkou. V průběhu několika minut obsluha z důvodu geologické a geotechnické dokumentace zastaví razicí stroj, couvne s řeznou hlavou o několik desítek centimetrů (cca 20–30 cm) a umožní přístup do komory před hlavou. Ve většině případů, a je to vhodnější i z hlediska dokumentace čelby, je přístupná dolní polovina komory (obr. 7) a skrze otvory je možné fotograficky a fyzicky zdokumentovat horninové prostředí, tedy čelbu a lokálně boční stěny výrubu. Standardně viditelná oblast čelby z otvorů v hlavě je předmětem obr. 8a. V ojedinělých případech je prostor mezi čelbou a řeznou hlavou zcela (kompletně) přístupný. Většinou se tak

documented at the excavation face, the subsequent development of the behaviour of the unsupported rock mass along the shield body and, if necessary, for the verification of the data from the tunnelling machine. The above-mentioned documentation types take up their own parts in the preparation of documentation sheets.

Regarding the brief description of the excavation documentation, each sheet contains general information on the working being excavated. A hand-drawn sketch of the heading being documented and the heading being subsequently spatially interpreted are on the first sheet. The second sheet contains the encountered types and the ground types defined by the percentage. 27 types are determined within the framework of KAT2 design and the tunnelling through the crystalline complex rock, with respect to: anisotropy, the degree of rock mass fracturing, the uniaxial compression strength (the UCS), the degree of weathering or even the occurrence of karst phenomena and, in the case of encountering fault zones, the character of the materials filling the cracks. In addition, it contains the marking of rock types decisive for the behaviour of the unsupported excavation during the work on it (inclusive of overbreaks), a general geological description, structural characteristics of the rock mass, the presence and character of groundwater, the stickiness at the excavation face and on the cutterhead and other notes regarding the excavation. Individual rock types (for example the spacing of schistosity surfaces, rock mass blockiness, aperture of cracks, detailed lithology) are subsequently described in detail and the usability of muck (the material classes from which the transport of muck to the respective stockpile is determined and from which the corresponding muck re-use follows) is categorised. In addition, the sheet contains the characteristics of the documented discontinuity surfaces (the type of the discontinuity or the system of discontinuities, the spacing, roughness, undulation, aperture, filling, coating). The following sheets are focused on the photo documentation of the above-mentioned areas. The last sheet contains the documentation of muck (photos, description – geological, grain-size related, usability etc.).

In-situ engineering geological documentation

The engineering geological documentation of drives is carried out in both tunnel tubes by both the client's and contractor's geologists every morning. The adopted solution follows from the verification of the geological situation by individual parties and, at the same time, meets the safety requirements. Together with the geologists the geotechnician and client's supervisor, the site manager and TBM technician on behalf of the contractor take part in the documentation.

The in-situ documentation process begins at 7h a.m. by the departure of the mine train from the shaft to the heading of one



Obr. 6 Fotografická dokumentace čelby skrze otvory v řezné hlavě, tj. "Mannloch", otvory začišťovacích dlát, a dále mezery mezi segmentovým prstencem a horninou v klenbě

Fig. 6 Photo documentation of the excavation face carried out through openings in the cutterhead, the so-called "Mannlöcher", gates for the trimming cutters and the gap between the segmental ring and the rock in the crown

zdroj/source: ÖBB, 3G



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 7 Provádění inženýrskogeologické dokumentace čelby ze dna razicí komory skrze průřezy v řezné hlavě štítu

Fig. 7 Carrying out the engineering geological documentation of the excavation face from the excavation chamber bottom through openings in the cutterhead

stane pouze v období prací na údržbě stroje, které jsou podmíněny maximální stabilitou čelby (obr. 8b). Opakem je obr. 8c, kdy čelba vykazuje výrazné blokovité výlomky.

Před samotným vykloněním se k čelbě je nutné se přesvědčit o stabilitě čelby, čili přítomnosti volných bloků, vzniku odprysků apod. Vzhledem ke stísněnému prostoru a časovému omezení na dokumentaci (cca 10 minut v případě zastavení ražby výhradně z důvodu geologické a geotechnické dokumentace) je nutné jednat rychle a současně opatrně vzhledem k výšce stroje. Nejprve je čelba fotografována v různých na sebe kolmých směrech pohledu. Viditelné strukturální prvky se popíší, jejich orientace a sklon jsou odhadovány, jelikož geologický kompas nepracuje správně z důvodu magnetického pole razicího stroje. Pevnost horniny je ověřována geologickým kladivem. Z prostoru komory je dále možné zkontrolovat zanesení štítu stroje. Po ukončení dokumentace čelby následuje dokumentace „geologických oken“ v teleskopickém štítu a v dalším kroku kontrola otvorů v segmentech a mezery mezi prstencem a horninovým masivem jednoho až dvou prstenců přístupných hned za štítem stroje. Kontrola se provádí z důvodu odhalení nadvýlomů – rozvolnění horninového masivu a dosednutí větších bloků na prstencem, jež mohou zapříčinit vznik trhlin v segmentech.

V průběhu čekání na důlní vlak, či přímo v něm, jsou vyplněny jednotlivé dokumentační listy konsenzuální inženýrskogeologické dokumentace, a to za spolupráce geologů obou stran. Identickým způsobem se postupuje i v případě druhé trouby, kdy je nejprve

of the tunnels. The travel currently takes about 40 minutes. If no technological break is encountered (e.g. the replacement of disk cutters, the realisation of exploratory boreholes ahead of the excavation face etc.), it is immediately possible to document the muck on the belt conveyor before the crusher. The operators stop the tunnelling machines during several minutes to allow for the geological and geotechnical documentation. They move the cutterhead several centimetres back (ca 20–30cm) and allow for the access to the chamber ahead of the cutterhead. It is in the majority of cases, and it is more suitable even from the aspect of the documentation of the excavation face, that the lower half of the chamber is accessible (see Fig. 7) and it is possible to document the rock environment, i.e. the excavation face and locally even the sidewalls of the excavated space, photographically and physically through the openings. The area of the excavation face commonly visible from the openings in the cutterhead is presented in Fig. 8a. In rare cases, the space between the excavation face and the cutterhead is completely accessible. It mostly happens only during the machine maintenance periods, which are conditional on the maximum stability of the face (see Fig. 8b). An opposite case is in Fig. 8c, where the excavation face exhibits distinct blocky features.

It is necessary before leaning out of the space behind the cutterhead toward the excavation face to check the stability of the face, i.e. to inspect the presence of loose blocks, the development of rock bursting etc. With respect to the confined space and the restricted time for the documentation (ca 10 minutes in the case of stopping the excavation solely for the purpose of the geological and geotechnical documentation) it is necessary to act quickly and, at the same time, carefully taking into consideration the height of excavated tunnel. First, pictures of the face have to be taken from various angles of view perpendicular to each other. Visible structural elements are described, their orientation and dip are guessed because of the fact that the geological compass does not work correctly with respect to the magnetic field of the tunnelling machine. The rock strength is verified by a geological hammer. It is further possible to check the choking of the shield from the chamber space. The documentation of the “geological windows“ in the telescopic shield follows after the completion of the documentation of the face. The openings in segments and the annulus between the ring and the rock mass along one or two rings accessible just behind the shield are inspected in the next step. The inspection is carried



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 8 Příklady dokumentace čelby: a) pohled z „Mannlochu“ vzhůru na stabilní čelbu s otisky řezných disků, b) stabilní, kompletně přístupná čelba v období údržby stroje, c) výrazně blokovitě vylomená čelba dokumentovaná z „Mannlochu“

Fig. 8 Examples of the documentation of the excavation face: a) a view from the “Mannloch” up to the stable excavation face with tracks of disk cutters in it, b) stable, completely accessible excavation face during a maintenance break, c) excavation face with distinct blocks broken from it, documented from the “Mannloch”

nutné důlním vlakem dosáhnout první průchozí příčné propojky a dalším vlakem pokračovat na čelbu. Pokud došlo k čerstvému odstřelu na právě realizované propojce, je dokumentována cestou z čelby na zvláštní list i ona. Časová náročnost dokumentace obou (případně třech) čelb je aktuálně přibližně 3,5 hodiny.

S dokumentací ražeb souvisí i každodenní odběr reprezentativních vzorků rubaniny na výsypce a provedení zkoušky pevnosti horniny při bodovém zatížení – Point load test a stanovení pevnosti v jednoosém tlaku (UCS).

Denní zpracování geologické dokumentace

Na inženýrskogeologickou dokumentaci in-situ navazuje okamžité zpracování fotografické dokumentace pro účely pravidelné dopolední schůzky tzv. „geotechnické čtvrt hodiny“, která se koná v půl dvanácté a účastní se jí zástupci investora a zhotovitele (geologové, geotechnici, geofyzici, stavbyvedoucí, stavební dozor a další), kde jsou prezentovány aktuální geologické, geotechnické a celkově technické podmínky ražeb a jejich postup (dále např. prognózy ražeb, odsouhlasení změny typu použitých segmentů, další technická opatření apod).

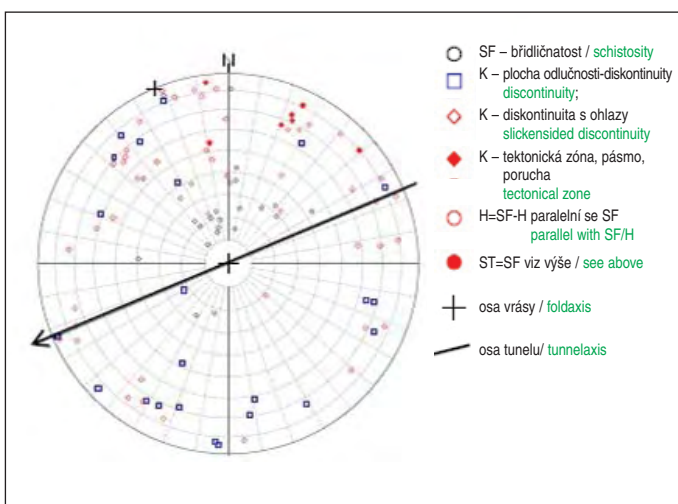
Dále navazuje vyplnění dokumentačních listů, zhotovení skici čelby a celková digitalizace dat využitím softwaru 2DOC upraveného pro stavbu KAT2. Zakreslení, a tedy každodenní aktualizace podélného a horizontálního geologického profilu tunelu ručně je nutné vzhledem ke spolupráci s geotechnikem a geofyzikem. Jelikož dokumentace probíhá jednou za den, je nutné vyražený úsek do další dokumentace čelby interpretovat (denní postup ražeb na jedné tunelové troubě až 35 m). K danému účelu jsou využívána geotechnicky zpracovaná data z razicího stroje (hodnoty přítlaču, kroutícího momentu, rychlost penetrace, zatížení drtiče, tření na plášti, hodnoty stabilizátorů a zpětně odvozená pevnost v prostém tlaku horninového masivu UCS). Využitím těchto dat lze usuzovat na rozměr a orientaci geologických struktur.

Identická dokumentace a digitalizace geologických dat se týká též příčných tunelových propojek ražených převážně ze severní trouby do jižní v odstupu cca 1 km za stroji.

Denně jsou vkládána strukturální data do počítače pro jejich následnou analýzu využitím softwaru Sphaira (obr. 9).

PŘEDSTIHOVÝ PRŮZKUM V PRŮBĚHU RAŽEB

V průběhu TBM ražeb je pravidelně prováděn předstihový průzkum a následná prognóza geologických a geotechnických podmínek ražeb. Cílem je identifikace významných tektonických poruch či poruchových zón a zdrojů přítoků podzemní vody. Metody používané pro tyto účely zahrnují jak geofyzikální metody, tak rotační příklepové bezjádrové předvrty a příležitostně i jádrové vrty.



zdroj/source: 3G

Obr. 9 Zpracování strukturálních dat v programu Sphaira
Fig. 9 Processing structural data using the Sphaira software

out with the aim of revealing overbreaks – loosening of the rock mass and larger blocks pressing on the ring, which could cause the development of cracks in the segments.

Individual documentation sheets of the consensual engineering geological documentation are filled jointly by the geologist of both parties during the time of waiting for the mine train or directly on its board. An identical procedure is applied to the other tunnel tube, where it is first necessary to reach the first cross passage passable for pedestrians on the mine train and to continue to the excavation face on another train. If fresh blasting took place in the cross passage being just realised, the cross-passage is also documented on a separate sheet during the travel from the face. The time demands of the documentation of both (or three) excavation faces currently amount to 3.5 hours.

The daily collection of representative samples of muck at the dump, the execution of the Point Load Test and the determination of the Uniaxial Compression Strength (the UCS) are associated with the documentation of the drives.

Daily processing of geological documentation

The processing of the photo documentation for the use in the regular morning meeting, the so-called “geotechnical quarter of an hour”, which is held at half past eleven and is attended by representatives of the client and the contractor, is immediately followed by the in-situ engineering geological documentation (geologists, geotechnicians, geophysicists, site managers, clients’ supervisors and others). Current geological, geotechnical and general technical conditions of the drives and their procedures (as well as, for example, excavation prognoses, approvals to changes in the type of the segments to be used, other technical measures etc.) are presented in the meetings.

Filling the documentation sheets, drawing the face sketch and overall digitalisation of data using the 2DOC software (modified for the KAT2 construction) follows. Plotting the data, therefore the daily updating of the longitudinal and the horizontal geological profiles of the tunnel, has to be carried out manually with respect to the collaboration with the geotechnician and geophysicist. Because of the fact that the documentation is conducted once in a day, it is necessary to interpret the completed excavation section (the daily advance rate for one tunnel tube reaching up to 35m) into the subsequent documentation of the face. The processed data from the tunnelling machine (the values of thrust, torque, penetration rate, crusher loading, skin friction, values of stabilisers and retrospectively derived unconfined compressive strength (the UCS) of the rock mass) are used for this particular purpose. By using these data, it is possible to deduce the dimension and orientation of the geological structures.

In addition, identical documentation and digitalisation of the geological data concerns the cross passages driven mostly from the northern tube to the southern tube at the distance of ca 1km behind the tunnelling machines.

The structural data are daily entered into the computer to be subsequently analysed using the Sphaira software (see Fig. 9).

ADVANCE SURVEY DURING THE DRIVES

Advance surveying and subsequent prognoses of geological and geotechnical conditions of the excavation are regularly conducted during the course of the TBM drives. The objective is to identify significant faults or fault zones and sources of groundwater inflows. The methods used for these purposes comprise both the geophysical methods and percussive-rotary full-hole drilling and, occasionally, even rotary coring ahead of the excavation face.

Of the geophysical methods, the Tunnel Seismic While Drilling (TSWD) system, where the tunnel boring machine is applied as a source of seismic waves, is used. These seismic

Z geofyzikálních metod je jedná o seismický systém prognózy TSWD (tunnel seismic while drilling), kdy plnoprofilový razicí stroj je využíván jako zdroj seismických vln. Geofony, osazené v radiálních vrtech hloubky 10 m, ve třech profilech o vzájemné osové vzdálenosti cca 150–250 m přijímají tyto seismické vlny. Data jsou denně vyhodnocována s prognózou na vzdálenost cca 100 m před čelbu tunelu. Významným omezením této metody je nemožnost detekce tektonických zón, které svírají s osou tunelu úhel menší než cca 30°.

Předvrtky realizované rotačně-příklepovým bezjádrovým vrtáním představují nejdůležitější metodu předstihového průzkumu. Standardně je prováděn jeden cca 100 metrů dlouhý, přibližně subhorizontální předvrt skrze vrtné prostupy v plášti stroje. Předvrt je realizován v závislosti na poznacích geofyzikálního průzkumu a jejich doporučení. Přítomnost geologa a celková dokumentace realizace předvrtu je též součástí geologické dokumentace in-situ. Ta zahrnuje petrografický popis výnosu z vrtu zachytávaného na sítu. Na základě charakteru rozvrtané horniny a pozorované rovnoměrnosti rychlosti vrtání lze přibližně odhadnout stupeň rozpukanosti horninového masivu. Ze zvýšeného zakalení vrtného výplachu, výrazně nerovnoměrného průběhu vrtání a úlomků hornin na síti (nebo jejich úplné absence) lze usuzovat na zastižení poruchové zóny a odhadnout její charakter. V případě přítoku podzemní vody do vrtu je prováděn odběr a popis vzorků podzemní vody. Po ukončení předvrtu je geologická dokumentace porovnána a vyhodnocena s ohledem na data z vrtné soupravy (tj. rychlost vrtání, příklep, tlak vody, přítlak vrtné soupravy apod.) a je součástí prognózy chování horninového masivu na ražbu v následujících cca 100 metrech. V případě zastižení významné poruchové zóny je nejprve tato zóna prostorově ověřena dalšími vrtky, aby se v případě nutnosti přistoupilo k vrtu jádrovému skrze řeznou hlavu. Další metodou pro odhad charakteru materiálu výplně dané zóny jsou vodní tlakové zkoušky. Pokud dojde k zastižení výrazně zvodnělých poruch (např. přítok do vrtu cca 20–30 l/s), jsou opět podle nutnosti realizovány další vrtky z důvodu odvodnění horninového masivu. V místě budoucí příčné propojky je průzkumný předvrt realizován vždy.

V pravidelných intervalech, v místě příčných tunelových propojek (každých 500 m) nebo v případě významné změny geotechnických podmínek ražby jsou prováděny jádrové vrtky o průměru 50 nebo 100 mm pro laboratorní stanovení jednoosé pevnosti horniny v tlaku (UCS) a abrazivity horniny podle CAI (Cerchar Abrasivity Index). Výsledky slouží k upřesnění charakteristik horninového masivu a ke stanovení tříd výrubu.

PROGNÓZA

Souhrnné výsledky z jednotlivých částí předstihového průzkumu jsou zpracovány do přehledné prognózy geologických a geotechnických podmínek ražeb v následujících přibližně 100 metrech budoucího úseku tunelu.

Geologická prognóza

Obr. 10 zobrazuje záznam z vrtání předstihového bezjádrového vrtu a geologickou prognózu na cca 100 m ražby. Předmětem je především petrografický a strukturní popis horninového masivu, přítomnost a charakter podzemní vody, obecné poznámky k průběhu vrtání (rovnoměrnost atd.) a vyznačení z geologického hlediska významných oblastí horninového masivu.

Celkové shrnutí prognózy z předstihového průzkumu zahrnuje charakteristiku dokumentovaných aspektů horninového prostředí s ohledem na nadcházející ražbu úseku, neboli stanovení příznivosti zastižených geologických podmínek. Dokumentovanými charakteristikami v případě geologického dohledu jsou: dosažení konečné hloubky vrtu, přítok podzemní vody, její zbarvení, výnos, tlak, dále zastižení poruch, jejich mocnost a projev na záznamu z vrtání, další doporučení ohledně vrtu. V případě geofyziky se jedná o indikaci tektonické poruchy, její vzdálenosti od čelby, orientace vůči ražbě, mocnosti a podobnosti k zastiženým poruchám.

waves are received by geophones installed in 10m deep radial boreholes, in three profiles spaced at ca 150–250m. The data is daily assessed, with a prognosis ca 100m ahead of the excavation face. The fact that fault zones making an angle smaller than ca 30° with the tunnel axis cannot be detected is a significant limitation of this method.

Holes drilled ahead of the excavation face using percussive-rotary full-hole drilling are the most important method of the survey ahead of the excavation face. One 100m-long, approximately sub-horizontal, drillhole is carried out ahead through drilling gates in the machine skin as a standard. The borehole is realised ahead of the excavation face depending on the findings of the geophysical survey and its recommendations. The presence of the geologist and the overall documentation of the process of drilling ahead of the excavation face is also part of the in-situ geological documentation. It comprises the petrographical description of the recovery from the borehole retained on a screen. The degree of the rock mass fracturing can be approximately estimated on the basis of the character of the rock being subjected to drilling and the observed steadiness of the drilling penetration rate. Encountering a fault zone and guessing at its character can be deduced from the increased turbidity of the drilling fluid, the distinctly non-uniform course of drilling and the rock fragments on the screen (or the total absence of them). Groundwater samples are collected and described in the cases of groundwater flows into the borehole. When the drilling ahead of the face is finished, the geological documentation is compared and assessed taking into consideration the data from the drilling rig (the drilling penetration rate, percussion, water pressure, drilling thrust force etc.) and becomes part of the prognosis of the rock mass response to the excavation along the following ca 100-metre section. If a significant fault zone is encountered, it is first spatially verified by additional boreholes so that drilling of a cored hole through the cutterhead is proceeded to only in the case of necessity. Another method of estimating the character of the filling material in the particular zone is water pressure testing. When a significantly water-bearing fault is encountered (the rate of flow into the borehole of about 20-30l/s), additional boreholes necessary for draining the rock mass are carried out. A survey borehole ahead of the excavation face is always carried out in the location of the future cross passage.

Cored boreholes 50 or 100mm in diameter are carried out at regular intervals, at cross passages (every 500m) or in the case of a significant change in geotechnical conditions for the excavation for the laboratory determination of the uniaxial compressive strength (UCS) of rock and the rock abrasivity according to the Cerchar Abrasivity Index (CAI). The results are used for refining the rock mass characteristics and determining the excavation support classes.

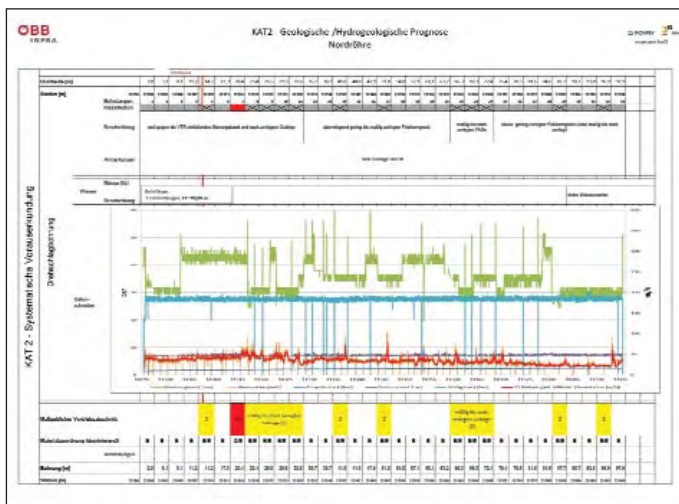
PROGNOSIS

The summary results from individual parts of the survey ahead of the excavation face are incorporated into a synoptic prognosis of geological and geotechnical conditions for the excavation in the subsequent approximately 100-metre section of the tunnel ahead.

Geological prognosis

Fig. 10 presents a record from full-hole drilling ahead of the excavation face and a geological prognosis for ca 100m long excavation section. Its main objective is the petrographical and structural description of the rock mass, the presence and character of groundwater, general notes regarding the course of drilling (penetration steadiness etc.) and marking of the rock massif areas significant from the geological point of view.

The overall summarisation of the prognosis based on the survey ahead of the excavation face comprises characteristics of



zdroj:source: ÖBB, 3G

Obr. 10 Záznam z realizace předstihového bezjádrového vrtu a geologická prognóza

Fig. 10 Record from the realisation of a non-cored borehole and the geological prognosis

Geologická prognóza pro s odstupem raženou druhou troubu je obvykle omezena pouze na interpretaci geologických a geotechnických podmínek z první tunelové trouby. Pokud však byla první troubou zastižena významná poruchová zóna, přistupuje se též k realizaci předvrtu z důvodu ověření skutečné pozice a rozsahu zóny. Dále rozsah předstihového průzkumu v následující troubě závisí na vzájemné vzdálenosti strojů.

Geotechnické zhodnocení

Ke geologické prognóze je vždy připojeno stručné geotechnické zhodnocení pro daný cca 100 m dlouhý úsek. Hodnoceno je především očekávané chování horninového masivu, tj. stabilita čelby a bočních stěn výrubu a popis příčiny vzniku možné nestability a celková doporučení k ražbě.

VYHODNOCENÍ CHOVÁNÍ ZAJIŠTĚNÉHO VÝRUBU (CHOVÁNÍ SYSTÉMU)

V pravidelných časových obdobích je vyhodnocováno chování systému horninové prostředí – konstrukce (tj. zajištěného výrubu), a to formou porovnání geologické dokumentace s geotechnickými daty z ražicího stroje a monitoringu deformací prstenců v odpovídajících měřených profilech. Vztah těchto dat je patrný z obr. 11, kde je uvedeno porovnání zdokumentovaného podélného a horizontálního geologického řezu z vyražené části tunelu (TM 10970 – 11170) s geotechnickými daty z TBM. Na geologických řezech jsou vyznačeny úseky, které byly osazeny jednotlivými typy segmentů (tj. ve stručnosti Typ IIa pro zhoršené podmínky, Typ III pro poruchové zóny, Typ IIb pro příznivé podmínky a Typ Q-III pro úsek příčné propojky v příznivých podmínkách). Nasazení jednotlivých typů segmentů plyne z výsledků předstihového průzkumu a z aktuální geologické dokumentace ražby. V profilu převažují „speciální“ segmenty, neboť se jednalo o úsek, kde byly zastiženy mírně až silně rozpuhané ruly s přechodem až k poruchovým pásmům, což dokazuje nerovnoměrnost dat z TBM. Na příkladu je evidentní, že poruchová pásma či změna na kvalitativně horší horninový typ korespondují se sníženou hodnotou přítlaku stroje a současně se zvýšenými hodnotami rotačního momentu a specifické penetrace. Sledována je i velikost tření na plášti štítu a zatížení drtiče, jejichž hodnoty též v poruchových, rozvolněných zónách výrazně rostou (obr. 11).

SHRNUTÍ

Inženýrskogeologický dozor je realizován jak na straně zhotovitele, tak investora, a to ze zmíněných důvodů možnosti ověření geologických podmínek, nároků zhotovitele a případně dalších nesrovnalostí. Dokumentace probíhá každý den a je průběžně

the documented aspects of the rock environment with respect to the coming tunnelling section, which means the determination of the favourableness of the geological conditions encountered. In the case of the geological monitoring, the documented characteristics comprise: reaching the final depth of the borehole, the inflow of groundwater, its colour, the recovery, pressure, encountering faults, their thickness and manifestation in the drilling record, other recommendations regarding the borehole. As far as the geophysics is concerned, the prognosis comprises the indication of a tectonic fault, its distance from the excavation face and the similarity to the already encountered faults.

The geological prognosis for the other tunnel tube driven at a distance behind the face in the first tube is usually limited to a mere interpretation of geological and geotechnical conditions from the first tunnel tube. Although, if the first tube encounters a significant fault zone, the hole is also drilled ahead of the face with the aim of verifying the actual location and extent of the zone. In addition, the extent of the survey ahead of the face depends on the distance between the tunnelling machines.

Geotechnical assessment

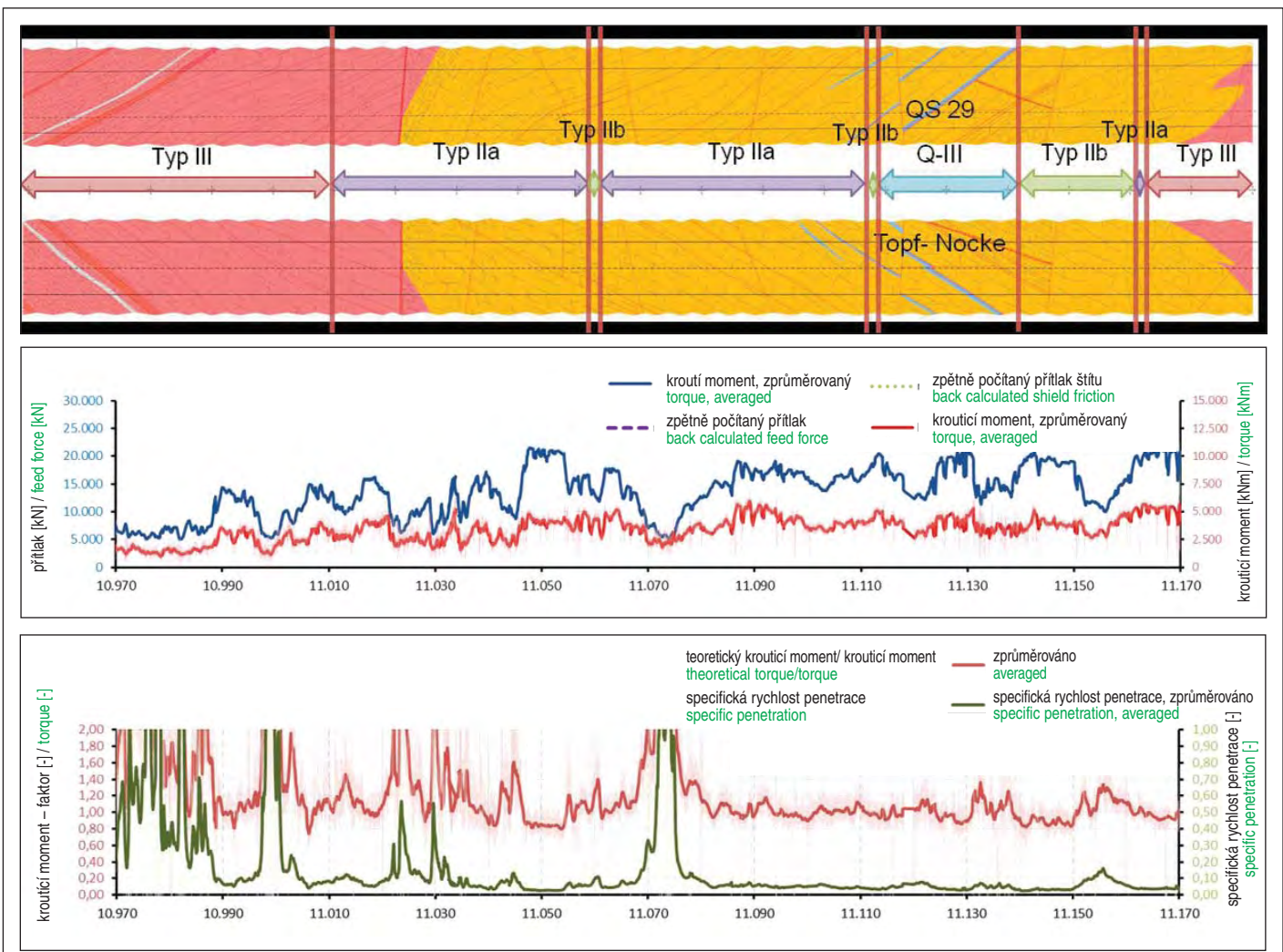
A brief geotechnical assessment for the particular ca 100m long section is always attached to the geotechnical prognosis. The assessment mainly deals with the expected behaviour of the rock mass, i.e. the stability of the face and the excavation sides, as well as the description of the cause of the origination of the potential instability and general recommendations regarding the excavation.

ASSESSMENT OF THE BEHAVIOUR OF UNSUPPORTED EXCAVATION (SYSTEM BEHAVIOUR)

The behaviour of the rock environment – structure system (i.e. the supported excavation) is assessed at regular intervals of time, in the form of comparing the geological documentation with geotechnical data from the tunnelling machine and the monitoring of deformations of the rings in the respective measured profiles. The relationships among these sets of data are obvious from Fig. 11, presenting the comparison of the documented longitudinal and horizontal sections from the completed excavation (tunnel chainage metres TM 10970 – TM 11170) with geotechnical data from the TBM. The sections lined with particular segment types (in brief: type IIa for worsened conditions, type III for fault zones, type Q-III for the cross passage section driven in favourable conditions) are marked on the geological sections. The application of individual segment types follows from the results of the survey ahead of the excavation face and from the current geological documentation of the excavation. The “special segments” prevail in the profile because it was a section where moderately to heavily fractured gneiss with a transition even to fault zones were encountered, which is a proof of the unevenness of the data from the TBM. It is evident on the example that the fault zones or the change into a qualitatively worse rock type correspond to the reduced value of the machine thrust and, at the same time, to the increased values of the torque (rotational moment) and the specific penetration rate. The friction on the shield skin and the crusher loading, the values of which also significantly grow in fault zones and loosened zones, are also monitored (see Fig. 11).

SUMMARY

The engineering geological supervision is carried both by the contractor and the project owner for the above-mentioned reasons, i.e. the possibility of verifying geological conditions, contractor's claims or other discrepancies. The documentation is carried out daily and is assessed continually. The categorisation into individual excavation support classes is adjusted on the basis of the results of the continual documentation and the documentation



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 11 Porovnání inženýrskogeologické dokumentace ražby s nasazením různých typů segmentů a s daty z razicího stroje, mezi daty je patrná významná korelace
 Fig. 11 Comparison of engineering geological documentation of a drive with various types of segments applied with the data from the tunnelling machine; a significant correlation is visible among the data values

vyhodnocována. Na základě výsledků průběžné a předstihové dokumentace je upravováno zařazení do jednotlivých razicích tříd, je navrhována aplikace speciálních segmentů ostění, je využíváno doplňkového průzkumu a zkoušek atd. Důsledná dokumentace a její vyhodnocení jsou důležitým podkladem pro predikci podmínek ražeb v následující tunelové troubě, zvláště v případě poruchových pásem.

Výše popsané inženýrskogeologické sledování mechanizovaných ražeb není popsáno v kompletním rozsahu, vybrány byly nejdůležitější činnosti, které probíhají souběžně s ražbami. V pravidelných periodách je prováděno souhrnné geologicko-geotechnické vyhodnocení a výsledky jsou vždy porovnávány s předpoklady před zahájením ražeb.

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TE01020168.

RNDr. TOMÁŠ SVOBODA, Ph.D.,
 svoboda.tomas@3-g.cz,
 3G Consulting Engineers s. r. o.

Recenzovali: Ing. Otakar Hasík, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.

regarding the subsequent excavation, ahead of the excavation face; the application of special lining segments is proposed and the supplementary survey and tests etc. are used on this basis. Consistent documentation and its assessment provide important grounds for the prediction of the excavation conditions in the subsequent tunnel tube, especially in the cases of fault zones. The above-mentioned engineering geological monitoring of mechanised tunnelling is not described at a complete extent; only the most important activities running in parallel with the excavation were selected. Overall geological-geotechnical assessing is carried out in regular periods and its results are always compared with the assumptions existing before the commencement of the excavation.

This paper was prepared with the support of the TAČR (the Technology Agency of the CR) TE01020168T grant.

RNDr. TOMÁŠ SVOBODA, Ph.D.,
 svoboda.tomas@3-g.cz,
 3G Consulting Engineers s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

- HARER, G. *The Austrian Koralm Tunnel investigation, design and construction for a large base tunnel project*. Proceedings of the international conference Underground Construction Prague 2013.
- HARER, G., SCHNEIDER, K. M. The main Koralm Tunnel contracts – current state of works. *Geomechanics and Tunnelling*, 2013/6, pp. 641-650.