

VÝSTAVBA TUNELOVÉHO „ŘETĚZCE“ GRANITZTAL DEVELOPMENT OF THE GRANITZTAL TUNNEL “CHAIN”

JIŘÍ ZMÍTOKO

ABSTRAKT

„Tunelový řetězec Granitztal“ (Tunnelkette Granitztal) je druhým nejdelším tunelovým komplexem tzv. Koralské železnice (Koralmabahn), která v budoucnu propojí spolkové země Štýrsko a Korutany a je součástí Adriaticko-Baltického železničního koridoru. Spojuje údolí Lavanttal a Jauntal a přímo navazuje na 32,9 km dlouhý tunel Koralm. Úsek (řetězec tunelů) se skládá z tunelu Deutsch Grutschen (2,6 km), přesýpaného tunelu Granitztal (0,6 km) a tunelu Langer Berg (2,9 km). Tunely jsou realizovány jako dva jednokolejné traťové tunely s propojkami, ražené pomocí NRTM (vyjma tunelu Granitztal). Článek je zaměřen na popis stavby se zaměřením na tunel Deutsch Grutschen, kde již byly ukončeny ražby (kolej č. 1 k 31. 8. 2016 a kolej č. 2 k 17. 10. 2016) a přesýpaný tunel Granitztal. Ražby tunelu Langer Berg jsou v současnosti zhruba v polovině, vzhledem k očekávaným pestrým geologickým podmínkám a geotechnicky problematickým úsekům je tato stavba tématem pro budoucí samostatný článek.

ABSTRACT

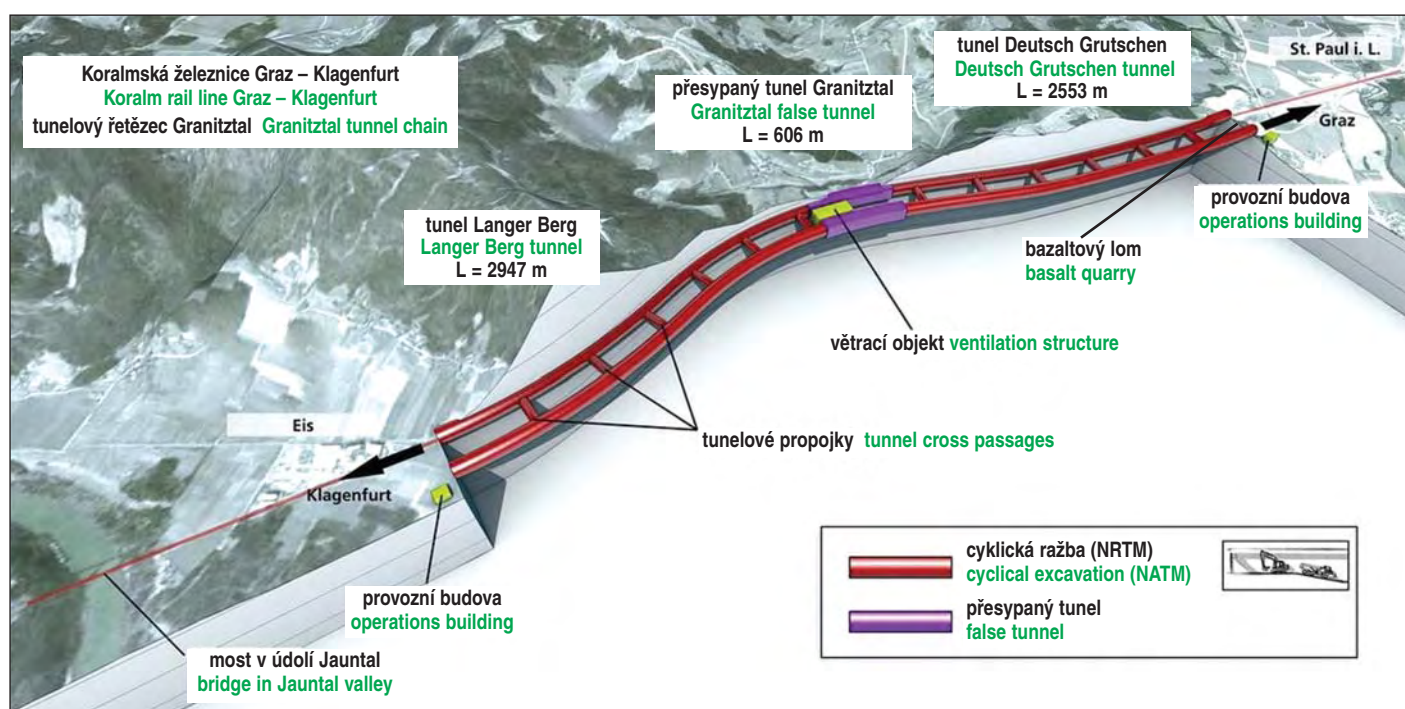
„The Granitztal Tunnel Chain“ (Tunnelkette Granitztal) is the second longest complex of tunnels on the so-called Koralm rail track (Koralmabahn), which will in the future connect the federal states of Styria and Carinthia and which is part of the Adriatic – Baltic rail freight corridor. It connects the Lavanttal and Jauntal valleys and directly continues on from the 32.9km long Koralm tunnel. The tunnelled section (the chain of tunnels) consists of the Deutsch Grutschen tunnel (2.6km), the Granitztal “false” tunnel (0.6km) and the Langer Berg tunnel (2.9km). The tunnels are being realised as two single-track running tunnels interconnected by cross passages. With the exception of the Granitztal tunnel they are driven using the NATM. The paper is focused on the description of the construction, concentrating of the Deutsch Grutschen tunnel, where the tunnel excavation has already been finished (track No. 1 on 31st August 2016 and track No. 2 on 17th October 2016), and the Granitztal false tunnel. The excavation of the Langer Berg tunnel is currently approximately in the middle; with respect to the expected variable geological conditions and geotechnically problematic sections, this construction is the topic for a future independent paper.

1. ÚVOD

Stavba tunelového řetězce Granitztal navazuje v údolí Lavanttal na tunel Koralm (jeho západní úsek KAT3). V údolí Lavanttal bude vybudováno zcela nové nádraží. Na toto nádraží již přímo navazuje tunel Deutsch Grutschen (DG) délky 2,6 km, následuje přesýpaný úsek a přechod potoka Granitzbach v údolí Granitztal délky 0,6 km a tunel Langer Berg (LB) délky 2,9 km, celkem tak vznikne tunel délky 6,1 km (obr. 1).

1. INTRODUCTION

The Granitztal tunnel chain project connects to the Koralm tunnel in Lavanttal valley (its western section KAT3). A completely new railway station will be built in Lavanttal valley. The 2.6km long Deutsch Grutschen (DG) tunnel directly continues on from this station. It is followed by the Granitzbach false tunnel, the passage across the Granitzbach brook in Granitztal valley and the 2.9km long Langer Berg (LB) tunnel. A 6.1km long tunnel will originate in this way (see Fig. 1).



Obr. 1 Přehledná situace celé stavby
Fig. 1 General layout of the entire project

Oblast stavby zahrnuje území jihozápadního okraje údolí Lavanttal, dále trasa prochází přes údolí Granitztal do údolí Drávy (Jauntal). Jsou podcházeny dva hřebety, nevýrazný hřeben Deutsch Grutschen a ostrý, výrazný hřeben Langer Berg (786 m n. m.). Nadloží tunelu DG je max. 142 m, průměrně cca 100 m, maximální nadloží tunelu LB je 347 m.

Investorem stavby je ÖBB Infrastruktur AG. Stavba je realizována sdružením firem Hochtief Infrastructure Austria a Implenia Österreich. Prováděcí projekt je zajišťován sdružením kanceláří iC Consulanten, IGT Geotechnik und Tunnelbau a Amberg Engineering.

Firmy iC Consulanten, IGT Geotechnik a Laabmayr pak zajišťují i přímý stavební a geotechnický dozor (ÖBA). Geologickou a hydrogeologickou dokumentaci provádí sdružení firem 3G Graz a BGG Consult. Geodetická měření v podzemí i na povrchu pak firma Geodata Leoben.

2. STRUČNÝ POPIS STAVBY

Tunely jsou navrženy jako dva jednokolejné tubusy s pevnou jízdní dráhou a s propojkami vzdálenými 500 m. Světlý průřez tunelů je 41,65 m² při ploše výrubu podle geotechnických podmínek 59 až 72,7 m². Délka bloků sekundárního ostění je 12,5 m. S výjimkou bloků v prostoru propojek jsou realizovány jako nevyztužené. Maximální návrhová rychlost je 250 km/h.

Plánované ukončení stavby je v průběhu roku 2020, vlastní uvedení do provozu je pak závislé na navazujících stavbách s předpokladem uvedení do provozu v roce 2022 společně s tunelem Koralm.

3. GEOLOGICKÁ STAVBA

V této kapitole budou popsány hlavní horninové typy přímo související se stavbou.

Během průzkumu bylo pro tunely DG realizováno devět jádrových vrtů, z nichž osm bylo následně vystrojeno jako hydrogeologické.

Trasa tunelů DG byla rozdělena na dva celky, zde nazývané horninové úseky. A to 25 m dlouhý úsek vulkanitů a hornin v jejich kontaktu a zbylý 2575 m dlouhý úsek v granitztalském souvrství. Na toto rozdělení neměla vliv ani přítomnost dvou poruchových zón. K těmto úsekům byly procentuálně stanoveny třídy vystrojení. Pro popis a zařazení horninového masivu nebyla používána žádná klasifikace.

3.1 Geologická stavba – Tunel Deutsch Grutschen – údolí Granitztal

Kvartér

Kvartérní (fluviální) sedimenty se vyskytují v údolí Granitztal. Jedná se o jemnozrnné až střednězrnné jezerní sedimenty („Stauseesedimente“). Převážně jde o plastické až vysoce plastické jílovitoprachovité hlíny s měkkou až tuhou konzistencí s proměnlivým obsahem jemného písku. Místy pak o hlinité písky. Maximální mocnost těchto sedimentů je 25 m. Charakteristickými parametry jsou úhel vnitřního tření 22–27°, soudržnost 5–10 kPa, modul přetvárnosti 10–20 MPa.

Neogén

Údolí Granitztal a Lavanttal jsou vyplněny neogenními (miocén) sedimenty tzv. Granitztalské a Lavanttalské pánve (Granitztaler, Lavanttaler Becken). Tyto sedimenty tvoří i hřeben Deutsch Grutschen.

Granitztalské souvrství je tvořené slabě zpevněnými prachovci, pískovci a slepenci respektive nepravidelným střídáním těchto hornin. Místy (vlivem tektonického porušení, zvětrání nebo

The area of the project comprises the south-western edge of Lavanttal valley, continues across Granitztal valley to the Drava River valley (Jauntal). Two mountain ridges are being passed under, the indistinctive Deutsch Grutschen ridge and the steep and distinctive Langer Berg ridge (786m a. s. l.). The maximum DG tunnel overburden is 142m high, ca 100m on average; the maximum LB tunnel overburden is 347m high.

The project owner is ÖBB Infrastruktur AG. The project is realised by a consortium consisting of Hochtief Infrastructure Austria and Implenia Österreich. The detailed design is provided by a consortium of offices iC Consulanten, IGT Geotechnik und Tunnelbau and Amberg Engineering.

The companies of iC Consulanten, IGT Geotechnik and Laabmayr provide the direct construction and geotechnical supervision (ÖBA). The geological and hydrogeological documentation is carried out by a consortium consisting of 3G Graz and BGG Consult. Survey in the underground and on the surface is carried out by Geodata Leoben.

2. BRIEF CONSTRUCTION DESCRIPTION

The tunnels are designed as two single-track tunnel tubes with a slab track and cross passages spaced at 500m. The net cross-section of the tunnels amounts to 41.65m² at the excavated cross-sectional area ranging from 59 to 72.7m², depending on geotechnical conditions. With the exception of lining blocks in the space of cross passages, the lining is realised as unreinforced concrete structures. The maximum design speed is 250km/h.

The completion of the project is planned to take place during 2020; bringing the tunnels into service depends on connecting projects, with the assumption about the bringing into service in 2020, concurrently with the Koralm tunnel.

3. GEOLOGICAL STRUCTURE

The following chapter will describe the main ground types directly associated with the construction.

Nine cored holes were bored for the DG tunnels during the survey; eight of them were subsequently equipped as hydrogeological boreholes.

The alignment of the DG tunnels was divided into two blocks named “ground sections” in this paper, the 25m long section formed by volcanites and rock types on their contact and the remaining 2575m long section passing through the Granitztal Formation. Nor the presence of two weakness zones affected this division. The percentage of excavation support classes was determined for these sections. No classification was used for the description and classification of the ground mass.

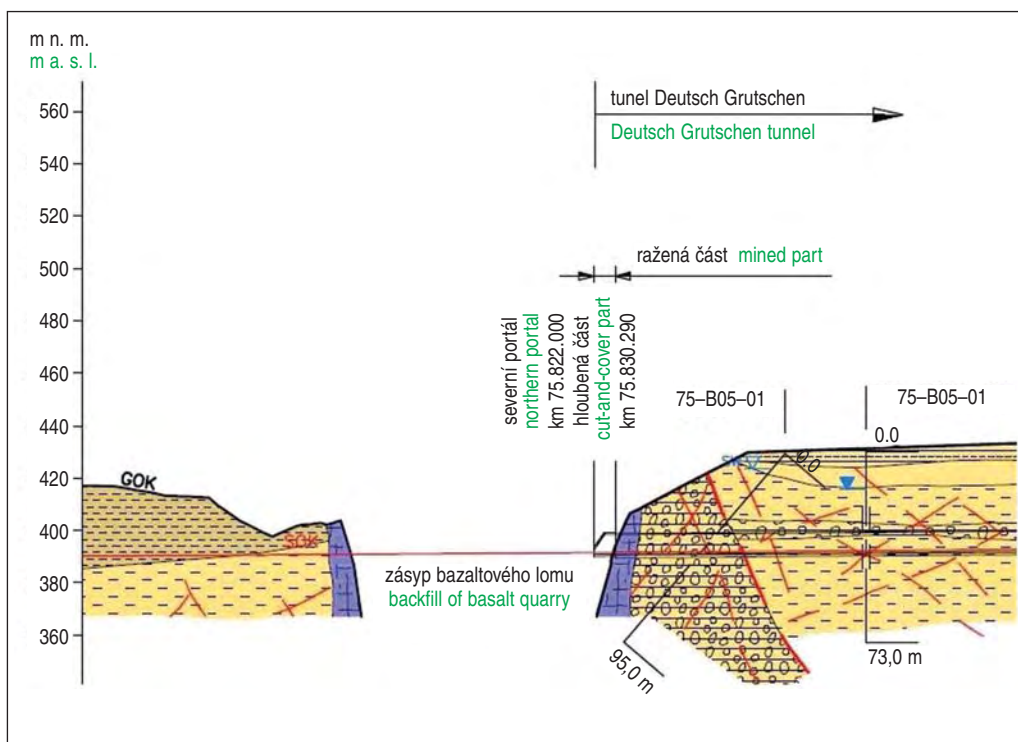
3.1 Geological structure – the Deutsch Grutschen tunnel – Granitztal valley

The Quaternary period

Quaternary (fluvial) sediments are encountered in Granitztal valley. They are fine-grained to medium-grained lacustrine deposits („Stauseesedimente“). They are mostly formed by plastic to highly plastic clayey-silty loams with soft to stiff consistency and variable content of fine sand, locally loamy sand. The maximum thickness of the sediments amounts to 25m. The angle of internal friction of 22–27°, cohesion of 5–10kPa, modulus of deformation of 10–20MPa are the characteristic parameters.

The Neogene period

Granitztal and Lavanttal valleys are filled with Neogene (Miocene epoch) sediments of the so-called Granitztal and Lavanttal basin (Granitztaler, Lavanttaler Becken). Even the Deutsch Grutschen Ridge is formed by these sediments.



Obr. 2 Výřez z podélného řezu tunelu Deutsch Grutschen, vytěžený bazalt (fialová), monotónní, granitztálské souvrství (světle žlutá)

Fig. 2 Cutout from the longitudinal section through the Deutsch Grutschen tunnel, the extracted basalt (violet), monotonous, Granitztal Formation (light yellow)

slabě zpevněných poloh) se tyto horniny nacházejí i ve formě původních sedimentů – šterky, písky a jemnozrné sedimenty.

Vlivem vulkanické činnosti na rozhraní miocénu a pliocénu došlo v údolí Lavanttal u osady Hundsorf ke vzniku čedičového sopečného komínu, který prochází granitztálské vrstvy. Čedič (bazalt) byl historicky prakticky vytěžen jako stavební kámen. Z lomu zůstaly pouze obvodové skalní stěny tvořící jakýsi přírodní amfiteátr. V této geologicky nejzajímavější části je situován severní portál tunelů Deutsch Grutschen (obr. 2, 3, 4, 7).

Průměr čedičového sopečného komínu je na úrovni terénu cca 150 m až 200 m. V minulosti byl vytěžen zhruba do hloubky 40 m pod současný terén a následně zatopen. Prakticky svislé stěny lomu jsou vysoké cca 30 m. Tloušťka zbytkové stěny lomu je proměnlivá. Místa již vystupují skrz „okna“ přeměněné sedimenty, jinde je tloušťka čediče do 10 m (obr. 4).



Obr. 3 Pohled na vytěžený bazaltový sopečný komín, budoucí severní portál tunelů DG, světlé stěny ohraničují původně zatopenou část

Fig. 3 A view of the extracted basalt chimney, the future northern portal of the DG tunnels, light walls forming the boundary of the originally inundated part

The Granitztal Formation is formed by weakly weathered siltstone, sandstone and conglomerates or irregular alternation of these rocks. Locally (due to tectonic faulting, weathering or weak solidification), these rocks are even in the form of the original sediments – gravel, sand and fine-grained sediments.

A basalt chimney passing through the Granitztal layers originated due to volcanic activities at the interface of the Miocene and Pliocene epochs in Lavanttal valley near the village of Hundsorf. The basalt was historically practically completely extracted as building stone. Only the peripheral walls forming sort of a natural amphitheatre remained from the quarry. The northern portal of the Deutsch Grutschen tunnels is located in this geologically interesting part (see Figures 2, 3, 4 and 7).

The diameter of the basalt chimney on the surface varies

from 250 to 200m. Basalt was extracted in the past up to the depth of 40m under the current terrain surface and was subsequently inundated. The virtually vertical walls of the quarry are ca 30m high. The thickness of the remaining walls of the quarry is variable. Altered rock locally steps out through “windows”, in other places the basalt wall is up to 10m thick (see Fig. 4).

The basalt is broken by nonpersistent fissures; it disintegrates into prismatic to columnar blocks. The unconfined compressive strength amounts to 50–150MPa.

A transition contact zone with thermally altered sediments, characteristically named „gefrittete Sedimente“ (fried sediments) originated at the contact with the basalt (see Fig. 4).

The massive, locally bedded rock solidified by thermal effects on contact with basalt gradually pass into weakly solidified sediments (conglomerates) of the Granitztal Formation.



Obr. 4 Detail kontaktu čediče s tepelně zpevněnými slepenci, tunel DG1
Fig. 4 A detail of the contact of basalt with thermally solidified conglomerates, tunnel DG1



Obr. 5 Detail vyhlazené plochy v tunelu DG1 TM 1419
Fig. 5 A detail of a slickensided surface in the DG1 TM 1419 tunnel

Čediče jsou rozpukané neprůběžnými puklinami, rozpadavé na prismatické až sloupcovité bloky. Pevnost horninového materiálu v prostém tlaku je 50–150 MPa.

Na kontaktu s čedičem došlo ke vzniku přechodové kontaktní zóny s tepelně přeměněnými sedimenty, příznačně nazvané „gefrittete Sedimente“ (smažené sedimenty) (obr. 4).

Masivní, místy vrstevnaté horniny zpevněné tepelnými účinky na kontaktu s čedičem postupně přecházejí ve slabě zpevněné sedimenty (slepence) granitztalských vrstev. Litologicky se jedná převážně o slepence s vložkami prachovců a pískovců. Slepence jsou polymiktní, zaoblené s valouny o průměru do 40 cm. Pevnost v prostém tlaku je 10–100 MPa. Zóna tepelné přeměny dosahuje zhruba 50 až 55 m od portálu.

Zbývající ražby probíhaly v sedimentech granitztalského souvrství. Převážně subhorizontálně uložené souvrství je charakteristické nepravidelným střídáním hrubozrnných a jemnozrnných poloh. Jedná se o:

Hrubozrnné, polymiktní slepence s valouny do velikosti 50 cm s pevností od 0,5 do 10 MPa. Místy s polohami s vyšším obsahem vápenatého tmelu ve formě několik decimetrů mocných poloh a čoček s pevnostmi 10 až 50 MPa.

Prachovce a pískovce, masivní až vrstevnaté jemnozrnné až střednězrnné horniny s pevností 0,5 a 10 MPa a s lokálními pevnějšími polohami s pevnostmi do 70 MPa.

Přechody mezi písčitými a prachovitými polohami jsou místy plynulé bez zřetelných přechodů. Orientace spádnice vrstevnatosti k severozápadu (průměr celé trasy 330/10°) se s výjimkou poruchových zón výrazně nemění.

Prakticky monotónní podmínky byly narušovány pouze lokálními tektonickými zónami, kdy docházelo zejména k vyjždění bloků horniny po vyhlazených plochách. Nejvýraznější problémy pak způsobovaly plochy orientované paralelně s čelbou se strmým sklonem, způsobující největší problémy (obr. 5). Tyto strmé plochy souvisí s tzv. Lavantalským poruchovým pásmem, které je zastiženo ražbou tunelu Koralm na úseku KAT3.

V jiných případech poruchy pouze oddělovaly jednotlivé polohy horniny různé zrnitosti bez zásadního vlivu na stabilitu čeleb (obr. 6).

3.2 Hydrogeologie

I přes relativně propustné horniny se hornonový masiv choval jako puklinově propustné prostředí. Během ražeb nedocházelo k výrazným přítokům vody do výrubu. Nejčastější přítoky se

From the lithological point of view, they comprise mostly conglomerates with siltstone and sandstone interbeds. The agglomerates are polymictic boulders up to 40cm in diameter. The unconfined compressive strength varies from 10 to 100MPa. The thermal alteration zone reaches approximately 50 to 55m from the portal.

The remaining tunnel excavation passed through the Granitztal Formation sediments. The predominantly subhorizontal bedding is characterised by irregular alternation of coarse-grained and fine-grained layers. They comprise:

Coarse-grained, polymictic agglomerates containing boulders up to 50cm, with the strength ranging from 0.5 to 10MPa. Locally with layers with higher content of calcareous cement in the form of several dm thick layers and lenses with the strength of 10 to 50MPa.

Siltstone and sandstone, massive up to bedded fine-grained to medium-grained rock with the strength ranging from 0.5 to 10MPa and local stronger layers with the strength up to 70MPa.

The transition between sandy and silty layers is locally fluent without distinct changes. With the exception of the shear zones, the north-western orientation of the maximum bedding slope line (the average of the entire route 330/10°) did not significantly change.

Virtually monotonous conditions were disrupted only by local shear zones, where rock blocks slipped out along slickenside planes. The most significant problems were caused by planes oriented in parallel with the steeply inclined excavation face (see Fig. 5). These steep planes are associated with the so-called Lavantaltal shear zone, which was encountered by the Koralm tunnel excavation in section KAT3.

In other cases the faults only divided individual layers of rock with different gradation, without principally influencing the stability of excavation faces (see Fig. 6).

3.2 Hydrogeology

Despite relatively permeable ground types, the massif behaved as a fissure permeable environment. No significant inflows of water into the excavation appeared during the excavation. The most frequent inflows manifested themselves as locally wet locations and virtually immeasurable inflows were the maximum. The majority of headings were completely without any inflow. Wet and dropping places appeared on the lining or in the vicinity of rock bolts with a time lag of several days.

The water table and its response to the excavation were regularly monitored by measuring the water table in boreholes. The influence of the excavation was proved only in the closest boreholes. Here the water table dropped up to 20m. This significant lowering of water table in boreholes in essence did not correspond to the small amount of water flowing into the tunnels.

Measurements in the boreholes and the minimum inflows into the tunnels proved the fact that the ground massif is divided by tectonic faults into relatively small blocks. Owing to the impermeable smooth sliding planes with clayey coating, the blocks do not significantly hydrogeologically communicate.

Apart from the above-mentioned facts, it also means that tectonic faulting does not have to mean increased risk of inflows into the excavation, just the opposite. Even a minute amount of water in the locations of tectonic faults caused significant increase in the instability of the excavation face.

A new thing used on the entire Koralmbahn project was the documentation of water inflows (even wet spots) manifesting themselves on the surface of the primary lining. Water samples were in addition taken for the purpose of detecting a potential for the creation of sinter. The reason is an effort to obtain as much

projevovaly jako lokální vlhká místa, maximálně docházelo k prakticky neměřitelným přítokům. Většina čeleb byla zcela bez jakýchkoliv přítoků vody. Vlhká a kapající místa se objevovala s odstupem několika dní na ostění nebo v okolí svorníků.

Hladina podzemní vody a její reakce na výrub byla pravidelně sledována měřeními hladiny ve vrtech. Vliv ražby se prokázal pouze v nejbližších vrtech. Zde došlo k poklesům hladin, které dosahovaly až 20 m. Tyto výrazné poklesy hladin ve vrtech v podstatě neodpovídaly malému množství vody, které přitékalo do tunelů.

Měření ve vrtech a minimální přítoky do tunelů tak prokázaly skutečnost, že horninový masiv je rozdělen tektonickými plochami na relativně malé bloky. Díky nepropustným, vyhlazeným kluzným plochám s jílovitoprachovitým povlakem pak spolu tyto bloky hydrogeologicky nijak výrazně nekomunikují.

Mimo uvedené skutečnosti to však také znamená, že tektonické porušení nemusí znamenat zvýšené riziko přítoků do výrubů, ale naopak. V místech tektonických poruch pak i nepatrné množství vody způsobovalo výrazný nárůst nestability čelby.

Novinkou použitou na celé Koralmbahn pak byla dokumentace přítoků (i vlhkých míst) vody projevujících se na líci primárního ostění. Rovněž byly odebrány vzorky vody za účelem zjištění potenciálu k tvoření sintrů. Důvodem je snaha získat ještě bezprostředně po ražbách co nejvíce informací o budoucím zatížení drenážních systémů, eventuálně provést jejich úpravu ještě během stavby.

4. TUNEL DEUTSCH GRUTSCHEN

Ražby tunelu Deutsch Grutschen byly zahájeny 15. 4. 2015 (DG1) a 3. 5. 2015 (DG2) a ukončeny 31. 8. 2016, respektive 17. 10. 2016. Betonáže definitivního ostění byly zahájeny bezprostředně po ukončení ražeb.

4.1 Severní portál

Severní portál navazuje na budoucí nádraží Lavanttal. Je situován do bývalého čedičového lomu (obr. 7). Umístění portálu do tohoto lomu přineslo poměrně netradiční situaci, kdy bylo možné zahájení ražeb bez předchozího zajištění portálových stěn. Stěna byla pouze osazena ochrannou ocelovou sítí a periodicky byla kontrolována z plošiny, zda nedochází k uvolňování horniny.



Obr. 6 Tektonická porucha oddělující slepence (pravá strana) a písčité prachovce v granitztalských vrstvách

Fig. 6 Tectonic fault dividing conglomerates (right-hand side) and sandy siltstone in Granitztal layers

information as possible about the future loading on drainage systems immediately after the excavation or to carry out changes still during the construction.

4. DEUTSCH GRUTSCHEN TUNNEL

The Deutsch Grutschen (DG) tunnel excavation commenced on 15th April 2015 (DG1) and 3rd May 2015 (DG2) respectively. It was finished on 31st August 2016 and 17th October 2016, respectively. The casting of the final lining concrete started immediately after the completion of the excavation.

4.1 Northern portal

The northern portal connects to the future Lavanttal railway station. It is located into a former basalt quarry (see Fig. 7). Locating the portal into this quarry brought in a relatively non-traditional situation, where it was possible to commence the excavation without preceding stabilisation of portal walls. The wall was only covered with protective steel mesh and was periodically checked from a lifting platform whether the rock loosening process does not take place.

4.2 Southern portal

The southern portal of the DG tunnel emerges in Granitztal valley in the area of the existing road. The Granitztal false tunnel follows behind the portal.

The portal is designed to be in a sloped construction pit with the slopes in the upper part and the bottom part reposing at 1:1 and 4:1, respectively (in agreement with the client the bottom part was realised practically vertically). The slopes are in addition stabilised by an anchoring system (IBO) with anchors 4m and 8m long. Three tiers of cable anchors 38, 32 and 26m are installed in the bottom part. Their roots are 8m long. They are drilled on a 25° incline and are designed for 1200kN (see Fig. 8).

4.3 Mined tunnels

The tunnels were driven according to the principles of the NATM, on a top heading, bench and invert sequence (the so-called horizontal division of the excavation face). The excavation support classes (here referred to as „Systemverhalten“) are divided for the entire project according to geological blocks; classes “Neogene 1 to 6” are designed for the DG tunnels. The LB tunnels are assigned classes “Neogene (N) and Permomesozoic (PM)”.

Individual classes are designed in a minimal variant and a maximal variant; in this way the range of the support elements within the framework of a class is defined.

The tunnel excavation is controlled according to “excavation support schemes” (Ausbaufestlegung), taking into consideration the actually encountered geotechnical conditions. The support elements are exactly prescribed within the framework of individual classes, depending on the current situation.

The excavation support schemes are determined by the construction supervisor (the engineer responsible for the excavation, the NATM engineer) after they are agreed by the geologist and the geotechnician.

The following scope of the support classes was expected for the DG tunnels: 1/N 19%, 2/N 21%, 3/N 42%, 4/N 15%, and 5/N and 6/N classes for the rest.

The top heading was excavated in an advance ranging from 60 to 130m, depending on geotechnical conditions, whilst the design allowed for the range of 8 to 130m, depending on the excavation support class.

The invert is designed and carried out at all excavation support classes. “Flat” bottom 1.8m deep in relation to the top of rail is designed for excavation support classes 1/N through to 3/N;

4.2 Jižní portál

Jižní portál tunelu DG vychází v údolí Granitztal v prostoru stávající komunikace. Na portál následně navazuje přesýpaný tunel Granitztal.

Portál je navržen ve svahované jámě se sklonem v horní části 1:1 a ve spodní části 4:1 (během hloubení byla po dohodě spodní část realizována prakticky svisle). Svahy jsou navíc zajištěny systémovým kotvením (IBO) s délkami kotev 4 a 8 m. Ve spodní části jsou umístěny tři řady lanových kotev délek 38, 32 a 26 m s délkou kořene 8 m vrtané ve sklonu 25°, dimenzované na 1200 kN (obr. 8).

4.3 Ražené tunely

Tunely byly raženy podle zásad NRTM s horizontálním členěním výrubu na kalotu, opěří a dno. Třídy výrubu (zde označované jako „Systemverhalten“) jsou pro celou stavbu rozděleny podle geologických celků, pro tunely DG jsou navrženy třídy „Neogen 1 až 6“. Tunely LB mají třídy „Neogen (N) a Permomesozoikum (PM)“.

Jednotlivé třídy jsou navrženy ve variantě minimální a maximální, čímž je definován rozsah prvků výstroje v rámci třídy.

Podle skutečně zastižených geotechnických podmínek se pak ražby řídí „schémata vystrojení“ (Ausbauaufestlegung). Zde jsou v rámci jednotlivých tříd přesně stanoveny vystrojovací prvky podle aktuální situace.

Schémat vystrojení jsou stanovena stavebním dozorem (inženýrem odpovědným za ražby – NRTM inženýr), po dohodě s geologem a geotechnikem.

Pro tunely DG byl předpokládán rozsah tříd SVT 1/N 19%, 2/N 21%, 3/N 42%, 4/N 15%, zbytek 5/N a 6/N.

Kalota byla ražena s předstihem podle geotechnických podmínek v intervalu od 60 do 130 m. Přičemž projekt umožňoval rozsah podle třídy výrubu 8 až 130 m.

Ve všech třídách výrubu je navržena a realizována protiklenba. Pro třídy SVT 1/N až 3/N „ploché“ dno s hloubkou 1,8 m vůči temeni kolejnice, pro vyšší třídy pak „hluboké“ dno s hloubkou 2,3 m vůči temeni kolejnice.

Propojky byly vždy zahájeny z v předstihu raženého tunelu a následně proráženy z druhého tunelu, přičemž prorážka probíhala výhradně zhruba uprostřed pilíře mezi tunely. Následovalo uzavření dna propojek a napojení na tunely.

4.3.1 Ražby

Ražby byly zahájeny ze severního portálu. Oproti většině staveb byla nejlépejší třída výrubu (SVT 1/N) použita v oblasti portálu (obr. 9), což bylo umožněno pevnou bazaltovou stěnou.

Základními charakteristikami třídy SVT 1/N byl postup 2,2 m, drátkobeton, lokální kotvení. Ražba v této třídě však probíhala pouhých 5 m.

Se změnou litologie došlo k přechodu na třídu vystrojení SVT 2/N a oproti předpokladům proběhl zbytek ražeb (tedy více než 99 %) v této třídě (obr. 10 a 11).

Z příčných řezů je evidentní, že v rámci jedné vystrojovací třídy byla ponechána výrazná variabilita v možnosti využití jednotlivých vystrojovacích prvků. Poměrně neobvyklá je zejména možnost použití jedné nebo dvou vrstev sítě. Neměnná zůstala pouze délka záběru 1,7 m v kalotě, respektive 3,4 m v opěří a dně.



Obr. 7 Pohled na severní portálovou stěnu tunelů Deutsch Grutschen, 05/2017

Fig. 7 A view of the northern portal wall of the Deutsch Grutschen tunnels, 05/2017

“deep” bottom with the depth of 2.3m in relation to the top of rail is designed for the higher classes.

The excavation of cross passages always started in advance of the mined tunnel excavation and subsequently the passages were broken through from the second tunnel. The breakthrough was carried out exclusively approximately in the middle of the rock pillar between the tunnel tubes. The closing of the cross passage bottom and connecting it to the tunnel tubes followed.

4.3.1 Tunnel excavation.

The tunnel excavation started from the northern portal. In contrast to the majority of construction sites, the easiest excavation support class (1/N) was used in the portal area (see Fig. 9). It was possible owing to the firm basalt wall.

The basic characteristics of the excavation support class 1/N comprised the advance round length of 2.2m, steel fibre reinforced concrete and local anchoring. The excavation in this class continued only for 5m.

With a change in the lithology, the excavation support class was changed to class 2/N and, in contrast with the assumptions, the remaining excavation (over 99%) was carried out in this class (see Figures 10 and 11).

It is evident from cross-sections that significant variability in the possibility of using individual excavation support elements was left within the framework of one support class. Relatively unusual is mainly the possibility of using either one or two layers of welded mesh. Only the advance round length of 1.7m in the top heading and 3.4m in the bench and the bottom remained invariable.

The average excavation rate of 6 rounds (10.2m) per 24 hours was reached in the top heading with this excavation support.

A short counter-heading of the DG2 tunnel started from the southern portal and was also categorised as class 2/N. Only the tunnel top heading was additionally protected by a 15m long tube canopy.

The other support classes, the use of which was planned for the locations of shear zones, were no more designed with such the significant variability. From class 2/N on they differed mainly by greater thickness of shotcrete, the application of welded mesh AQ 60 (6/100x6/100), greater number and length of rock bolts, the division of the excavation face into more excavation sequences, reduced length of the excavation round and the distance between the top heading excavation and the already closed profile. A common character of all classes is the omission of the top heading crown anchoring system (radial).

The application of 100mm welded mesh size can be assessed as trouble-free from the aspect of the risk of low quality of spraying



Obr. 8 Pohled na jižní portálovou stěnu tunelů DG
Fig. 8 A view of the southern portal wall of the DG tunnels

S tímto zajištěním bylo v kalotě průměrně dosahováno šest záběrů za 24 h, tedy 10,2 m.

Ve třídě SVT 2/N byla zahájena i krátká protiražba tunelu DG2 z jižního portálu. Pouze přístropí tunelu bylo dodatečně chráněno mikropilotovým deštníkem délky 15 m.

Ostatní vstrojovací třídy, jejichž využití bylo plánováno v místech poruchových zón, již nebyly navrženy s tak výraznou variabilitou. Od třídy SVT 2/N byly odlišné zejména větší tloušťkou stříkaného betonu, použitím sítí AQ 60 (6/100x6/100), větším počtem a délkou svorníků, rozdělením čelby na více dílčích výrubů, zkrácením záběru a odstupu kaloty od uzavřeného profilu. Společným znakem všech tříd je pak vynechání systémového (radiálního) kotvení stropu kaloty.

Použití sítí s oky 100 mm lze z hlediska rizika nekvalitního prostříkání sítí betonem hodnotit jako bezproblémové. Tyto typy sítí s malým průměrem drátu lze uvažovat jak z hlediska manipulace, tak i kvality nástřiku ostění jako alternativu k sítím s oky 150 mm. Na vznik „stínů“ ve stříkaném betonu má tedy mimo velikosti oka zásadní vliv i průměr drátu.

Tunel DG1 byl proražen přímo do portálové stěny, z níž byl rovněž navrtán mikropilotový deštník.

4.4 Betonáže definitivního ostění

V současné době probíhají betonáže definitivního ostění. Celkem 12,5 m dlouhé bloky jsou s výjimkou propojek realizovány jako nevyztužené s tloušťkou 30 cm. V současné době ještě probíhají zkoušky použití drátkobetonu pro bloky s napojením na propojky. V případě pozitivního výsledku pak bude

the concrete through the mesh. These types of mesh with a small diameter of wire can be considered both from the aspect of handling and the quality of the sprayed lining as an alternative to the 150mm meshes. It means that the origination of shadows in sprayed concrete is crucially influenced not only by the size of meshes, but also by the diameter of the wires.

The DG1 tunnel was broken directly through the portal wall, which the holes for the canopy tube support were drilled from.

4.4 Casting of final lining concrete

Casting of final lining concrete is currently underway. The 12.5m long casting blocks are, with the exception of blocks at cross passages, realised as 30mm thick non-reinforced structures. At the moment, testing of the use of steel

fibre reinforcement for blocks containing the connections to cross passages is underway. In the case of a positive result, the classical reinforcement of these blocks will be abandoned. No safety recess are realised throughout the tunnel route length.

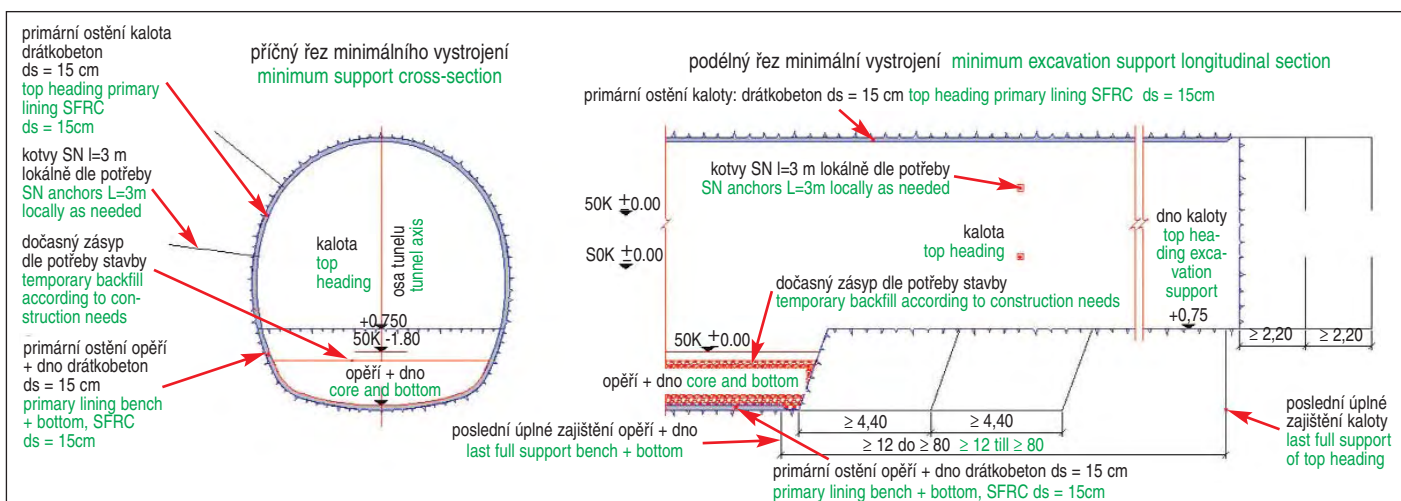
In contrast to the custom existing in the Czech and Slovak Republics, concrete is cast in an alternating pattern (see Fig. 12). This system originated on the basis of project owner's requirement. The reason is the effort to restrict the pressure action of a freshly stripped block on the previously realised block. This system eliminated the development of cracks.

A novelty lies in the introduction of a new system of cleaning the drainage, the so-called MDB-System (Modulares Drainagespuelsystem Bahn). This new solution allows for cleaning drains without a necessity for significant restriction on the tunnel operation. The solution is based on placing central manholes into cross passages. It is then possible to clean respective sections of drains without necessity for restricting the train traffic in the tunnel. This system is concurrently being developed and introduced in the Semmering and Pummersdorf tunnels.

5. GRANITZTAL FALSE TUNNEL

Environmental reasons led to the selection of the variant of covering the track section running along the Granitztal valley with ground. This part will even contain the future ventilation structure.

The process of overcoming the valley comprises several interesting technical solutions, which are associated first of all with



Obr. 9 Třída vstrojení SVT 1/N, příčný a podélný řez
Fig. 9 Excavation support class 1/N, cross-section and longitudinal section

upuštěno od klasické výztuže těchto bloků. V celé trase nejsou realizovány záchranné výklenky.

Oproti zvyklostem v ČR/SR probíhá betonáž vždy ob jeden blok (obr. 12). Tento systém vznikl z požadavku investora. Důvodem je omezení tlakového působení čerstvé odbedněného bloku na již dříve realizovaný blok, čímž je eliminován vznik trhlin.

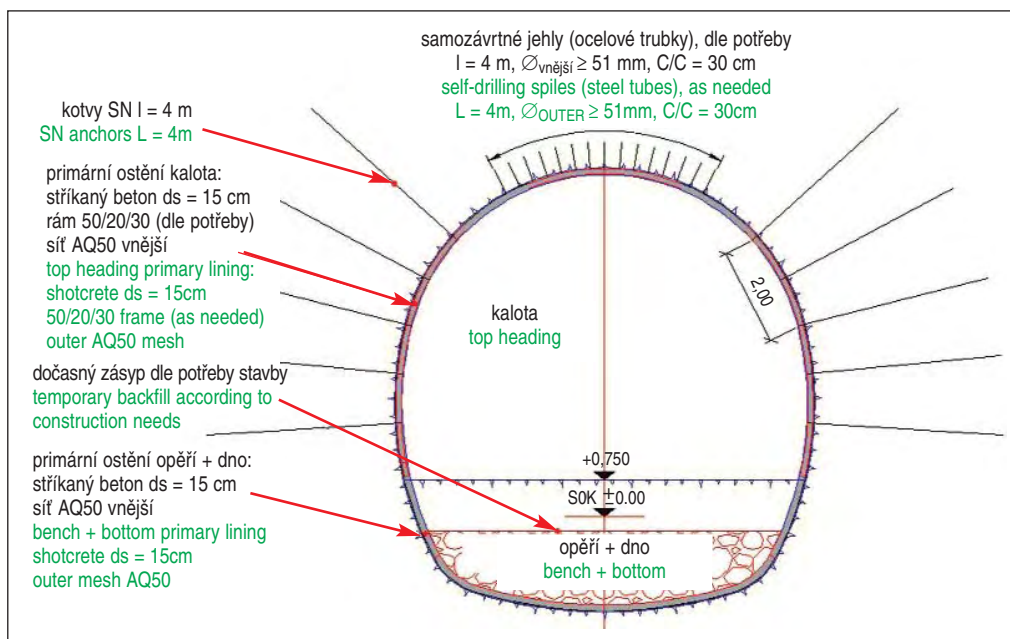
Novinkou je pak nasazení nového systému čištění drenáží, tzv. MDB-System (Modulares Drainagespuelsystem Bahn). Toto nové řešení umožňuje čištění drenáží bez nutnosti výrazného omezení provozu v tunelu. Základem řešení je umístění centrální čisticí šachty do tunelových propojek. Z tohoto místa je pak možné čištění příslušných úseků drenáží bez nutnosti omezení provozu v tunelu. Tento systém je současně vyvíjen a zaváděn na tunelech Semmering a Pummersdorf.

5. PŘESYPANÝ TUNEL GRANITZTAL

Z ekologických důvodů byla zvolena varianta přesypání úseku vedeného údolím Granitztal. V této části bude umístěn i budoucí vzduchotechnický objekt.

Překonání údolí zahrnuje několik zajímavých technických řešení, která jsou spojena zejména s přítomností mocné vrstvy jezerních sedimentů a nutností překonat koryto potoka přesypáním tunelem.

Na jižní portál tunelů DG tak postupně navazovaly: první část dočasně deponie plnicí funkci zatěžovacího konsolidační-



Obr. 10 Třída vystrojení SVT 2/N, příčný řez minimální rozsah

Fig. 10 Excavation support class 2/N, cross-section, minimum scope

the presence of a thick layer of lacustrine sediments and the necessity for crossing a brook bed by a false tunnel.

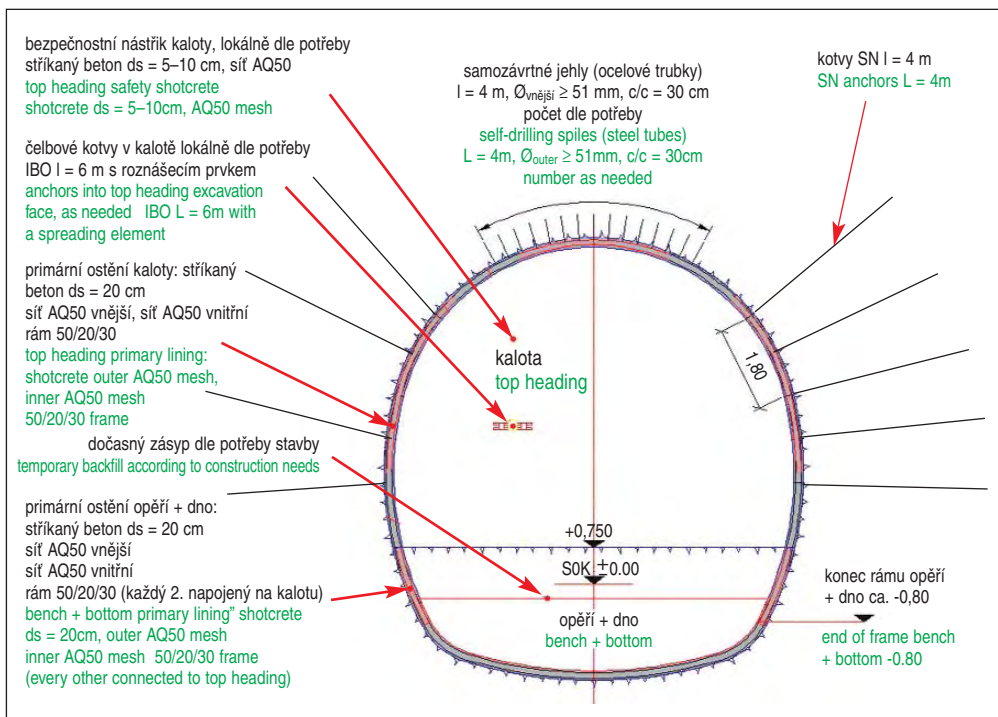
The southern portal of the DG tunnels was step by step followed by the first part of the current temporary stockpile fulfilling the function of a loading-consolidation embankment, the second part of the embankment, the SA1 structure (in substance a bridge for tunnels) and the adjacent portal construction pit for the LB tunnels (see Figures 13 and 14).

About 500,000m³ of material were excavated during the excavation of the portal construction pits. Part of them was used for the creation of 20-30m high consolidation embankments. With respect to unfavourable geomechanical parameters, mainly parameters of the lacustrine sediments, it was necessary mixing them with gravel-sand forming the Granitztal Formation and carry out subsequent lime stabilisation with ca 20kg/m³ of lime. This measure will subsequently contribute even to the following trouble-free disposal of this material.

The construction of the SA1 structure, the "bridge for tunnels" was carried out in a construction pit stabilised by a sheet pile wall. After removing approximately 4m of sediments and replacing them with aggregates, the concrete base slab of the structure containing the brook bed was gradually carried out. Subsequently the concrete of the side walls and the bridges themselves was cast.

After the completion of casting concrete, gravel was transported to the brook bed, the walls of the structure were clad in stone and the brook flow was transferred to the new bed (see Fig. 14).

The blocks of the false tunnel are realised as 10m long and 60cm thick reinforced concrete structures.



Obr. 11 Třída vystrojení SVT 2/N, příčný řez maximální rozsah

Fig. 11 Excavation support class 2/N, cross-section, maximum scope



Obr. 12 Betonáže definitivního ostění
Fig. 12 Final lining concrete casting

ho násypu, druhá část násypu, objekt SA1 (v podstatě most pro tunely) a následně portálová jáma tunelů LB (obr. 13, 14).

Během hloubení portálových jam bylo vytěženo zhruba 500 000 m³ materiálu, část pak byla využita k vytvoření 20–30 m vysokých konsolidačních násypů. Vzhledem k nepříznivým geomechanickým parametrům zejména jezerních sedimentů bylo nutné jejich promíchání se štěrkopísky granitiztálského souvrství s následnou vápennou stabilizací zhruba 20 kg/m³ vápna. Toto opatření posléze přispěje i k dalšímu bezproblémovému uložení tohoto materiálu.

Výstavba objektu SA1, tedy „mostu pro tunely“ byla realizována ve stavební jámě zajištěné štětovou stěnou. Po odtěžení přibližně 4 m sedimentů a jejich nahrazení kamenivem byla postupně vybetonována základová deska objektu s budoucím korytem potoka. Následně byly betonovány boční stěny a vlastní mosty.

Po dokončení betonáže byl do budoucího koryta navezen štěrk, stěny objektu byly obloženy kamenem a do nového koryta byl převeden potok (obr. 14).

Bloky přesýpaného tunelu jsou realizovány jako vyztužené o délce 10 m a tloušťce 60 cm. Betonáž první části navazující na tunel LB byla zahájena po dokončení podkladní desky na jaře 2016. Betonáž byla prováděna pomocí dvou bednicích vozů pro každý tunel a jednoho vnějšího bednění (obr. 15).



Obr. 14 Objekt SA1, „most pro tunely“, 04/2017
Fig. 14 SA1 structure, „bridge for tunnels“, 04/2017



Obr. 13 Údolí Granitztal, portál tunelů DG jih, příprava betonáže bloků přesýpaného tunelu, tunely LB
Fig. 13 Granitztal valley, portal of the DG South tunnels, preparation of casting the concrete blocks of the false tunnel, the LB tunnels

The concrete casting operations in the first part connecting to the LB tunnel commenced after the completion of the base plate in spring 2016. Concrete was cast using two tunnel form travellers for each tunnel and one outer formwork (see Fig. 15).

The gradual covering of the tunnel with ground followed. The construction of the next part connecting to the DG tunnels commenced in spring 2017, after removing the first part of the consolidation embankment.

6. GEOTECHNICAL MONITORING

The observation of the tunnel excavation was divided into a geological part and a geotechnical part. The geotechnical monitoring primarily comprised convergence measurements. No other monitoring equipment was installed in the DG tunnels.

The convergence measurement profiles consisted of seven points (5 points in the top heading and 2 points in the bench). The profiles were spaced at 15m intervals as a standard, but always in a way securing that the zero measurement was carried out immediately after the installation. For that reason the exact spacing of the profiles was not considered crucial. The most important was that the time of the zero measurement after the profile installation was as short as possible. The spacing of the convergence measurement profiles was reduced to 10 to 5m in the areas of weakness zones and cross passages.

The frequency of the convergence measurements was once a day up to the distance of 50m from the excavation face, once in two days up to the distance of 100m and once in a week up to the distance of 150m.

The measurements with the once-a-day frequency in an adequate section of the DG1 tunnel were reinstated during the passage of the DG2 tunnel excavation carried out back at a prescribed distance. The results of convergence measurements were used as a basis for the calculation of the loads acting on the primary lining. At-grade structures, slopes and other structures were measured by surveying (trigonometric survey, precision levelling).

Stresses in anchors were monitored on the southern portal wall of the DG tunnels. The slopes, the pit for the SA1 structure and the surroundings of high voltage columns were monitored apart from surveying even by inclinometers. Noise measurements were carried out in the vicinity of residential buildings.

Následně bylo zahájeno postupné zasypávání tohoto úseku. Výstavba další části navazující na tunely DG byla zahájena na jaře 2017 po odtěžení první části konsolidačního násypu.

6. GEOTECHNICKÝ MONITORING

Sledování ražeb bylo rozděleno na geologickou a geotechnickou část. Geotechnický monitoring sestával primárně z konvergenčních měření. V tunelech DG nebyla umístěna žádná další monitorovací zařízení.

Konvergenční profily byly osazeny jako sedmibodové (pět bodů kalota, dva opěří). Vzdálenost profilů byla standardně 15 m, ale vždy tak, aby bylo zajištěno nulté měření bezprostředně po osazení. Nebyla proto primární přesná vzdálenost mezi profily, ale přesný a co nejkratší čas nultého měření od osazení profilu. V oblasti poruchových zón a propojek byla vzdálenost konvergenčních profilů snížena na 10 až 5 m.

Frekvence měření konvergenčních profilů byla do vzdálenosti od čelby 50 m denně, při vzdálenosti od čelby do 100 m 1x za 2 dny a do vzdálenosti 150 m 1x týdně.

Rovněž při průchodu ražby tunelu DG2 raženého s odstupem byla obnovena měření v tunelu DG1 v příslušném úseku s denní frekvencí. Výsledky konvergenčních měření sloužily jako podklad pro výpočet zatížení primárního ostění. Povrchové objekty, svahy a další konstrukce byly měřeny geodeticky (trigonometrická měření, přesná nivelace).

Na jižní portálové stěně tunelů DG bylo sledováno napětí na kotvách. Svahy, jáma objektu SA1 a okolí patek sloupů VN byly kromě geotechnického měření monitorovány i inklinometry. V blízkosti obytných budov probíhala měření hluku.

Geologické sledování čelieb probíhalo v režimu každodenní dokumentace příslušné čelby. Nebyla tedy nutná dokumentace každé čelby. Dokumentace byla zpracovávána (digitalizována) v programu TUGIS (obr. 16).

Popis čelieb byl založen na popisu litologie, charakteru a parametrů diskontinuit, pevnostních parametrů horniny, chování otevřeného výrubu a vlastní horniny, dokumentaci přítoků vody a fotodokumentaci. Rovněž byly odebrány vzorky hornin a vody pro laboratorní zkoušky a rozborů. Pro popis hornin nebyla používána žádná geotechnická klasifikace horninového masivu. Spolu s dokumentací ražeb byly geologicky sledovány i veškeré svahy stavebních jam a souvisejících objektů.

Denně probíhá tzv. „geotechnická čtvrt hodinka“, kde se probírají a okomentovávají denní výsledky měření, dokumentací a ostatní záležitosti stavby. V případě potřeby pak dochází k úpravám schémat vystrojení, eventuálně k dalším opatřením.

Měsíčně pak probíhají geotechnická jednání v širším obsazení za účasti investora, projektanta, eventuálně dalších osob. Zde jsou



Obr. 15 Betonáž bloků přesypného tunelu

Fig. 15 Casting of concrete blocks of the false tunnel

The geological surveying of the headings proceeded in the regime of the daily documentation of the respective heading. The documentation of each heading was therefore unnecessary. The documentation was processed (digitised) using the TUGIS program (see Fig. 16).

The description of headings was based on the description of the lithology, the character and parameters of discontinuities, strength-related parameters of ground, the behaviour of the open excavation and the ground itself, documentation of water inflows and photo documentation. In addition, specimens of ground and water were taken for laboratory testing and analyses. No classification was used for the description of ground. Even all slopes of construction pits and associated structures were geologically observed together with documenting the headings.

The so-called “Geotechnical quarter-hour”, where daily results of measurements, documentations and other construction matters were discussed and commented, took place every day. If necessary, the excavation support schemes were modified or other measures were agreed.

Geotechnical meetings with wider attendance, in the presence of the project owner, designer or other persons, take place monthly. Results of the measurements, the documentation, the courses of the headings etc. are presented at the meetings in context. An example of an obvious increase in deformations during the passage across one of the shear zones is presented in Fig. 17.

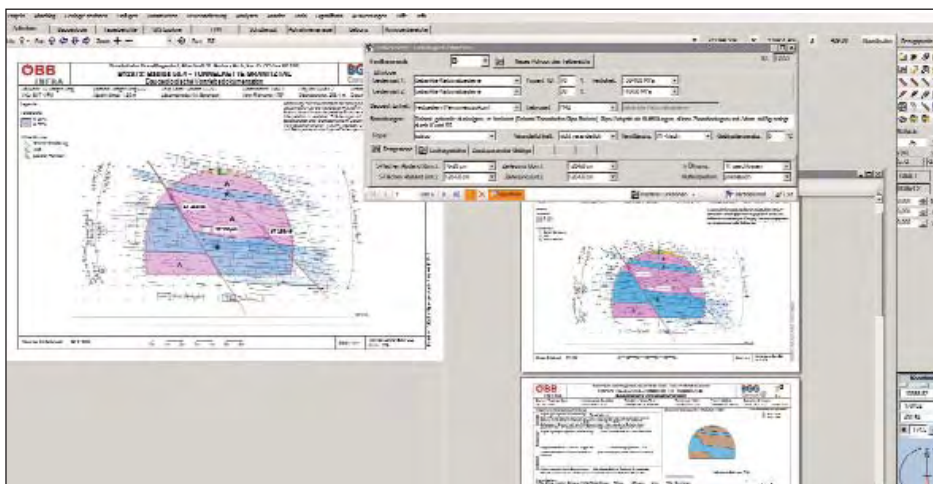
Two shear zones were predicted for the DG tunnels route. They were confirmed by the subsequent excavation. Nevertheless, the impact of the faults on the tunnel excavation was not as serious as expected. The main manifestation lied in the increased disturbance of the massif associated with an increase in the frequency of faults and slickensides.

The relatively homogeneous conditions for the tunnel excavation manifested themselves even in the magnitude of deformations, where the maximum values of vertical and horizontal deformations in substance did not exceed 10mm.

Increased deformations occurred only in the shear zones, where the maximums fluctuated about 50mm.

7. CONCLUSION

The intention of this paper was to give an idea of the Tunnelkette Granitztal project especially on DG Tunnel. The attitude towards adopting changes and responding to arisen problems is the most noticeable



Obr. 16 Ukázka geologické dokumentace v prostředí programu TUGIS

Fig. 16 Exhibit of geological documentation in the environment of the TUGIS program

v souvislostech prezentovány výsledky měření, dokumentace, průběhy ražeb atd. Jako například na obr. 17, kde je zřetelný nárůst deformací při průchodu jednou z poruchových zón.

V trase tunelů DG byla průzkumem předpovídána dvě poruchová pásma, která byla následnou ražbou potvrzena. Dopad těchto poruch na ražbu však nebyl tak velký, jak se očekávalo. Hlavním projevem bylo zvýšené porušení masivu spojené s nárůstem počtu tektonických, vyhlazených poruch.

Relativně homogenní podmínky pro ražbu se projeví i na velikosti deformací, kdy maximální hodnoty vertikálních i příčných deformací v podstatě nepřesáhly 10 mm.

Pouze v poruchových pásmech došlo k nárůstům, přičemž maxima se pohybovala okolo 50 mm.

7. ZÁVĚR

Záměrem článku bylo podat představu o stavbě Tunnelkette Granitztal, se zaměřením na tunel Deutsch Grutschen. Z hlediska porovnání se stavbami v ČR/SR je nejvýraznější rozdíl v přístupu k přijímání změn a reakce na vzniklé problémy.

Řešení „běžných“ problémů souvisejících s ražbami (nestabilita čelby, nárůst deformací, změna systému rozpojování, atd.) je ponecháno zcela v kompetenci týmu přítomného na stavbě. Opatření jsou přijímána bezprostředně a jsou plně akceptována zhotovitelem.

Změny schémat vystrojení na jedné straně vždy dodržovaly veškeré bezpečnostní zásady, současně byl však kladen maximální důraz na ekonomiku.

Ke změně vystrojení tak u tunelů délky 2600 m došlo zhruba 30 krát v každém tubusu. A i v tomto případě byly vždy veškeré změny dodavatelem přesně dodržovány.

Evidentní je také rozdíl v důrazu na rychlé zaměření konvergenčních profilů a dodržování pokud možno stejného času od osazení bodů do jejich nultého měření. Rovněž vzdálenost konvergenčních profilů je výrazně menší, toto řešení poskytuje nejen podrobnější přehled o vývoji deformací, ale umožňuje i mnohem rychleji reagovat na případné změny.

Z hlediska dodavatele pak je zřejmé dokonalé zvládnutí sledu prací v cyklu, kdy bylo běžně dosahováno šesti i sedmi postupů za den.

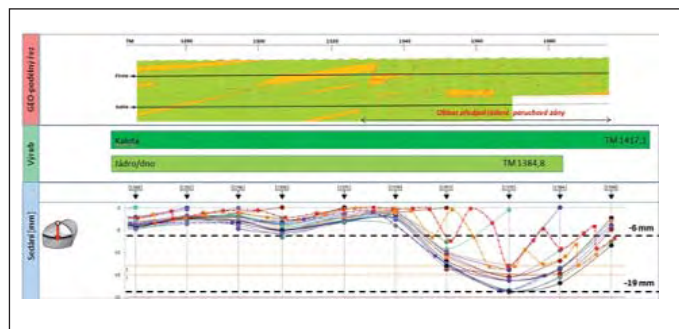
Vzhledem k stále častějším informacím o záměru zahájení prací na vysokorychlostních tratích v ČR, které budou nutně napojeny na stávající a budované dráhy v sousedních zemích, je nutné sledovat vývoj, způsob výstavby a problémy spojené s výstavbou jak již provozovaných, tak v současnosti budovaných vysokorychlostních tratí v zahraničí.

Přestože každá tunelová stavba je ve své podstatě originál, najde se řada staveb, které se některým plánovaným stavbám na území ČR velice podobají. V takových případech by bylo velmi žádoucí se z těchto staveb poučit a nehlédat jiná, mnohdy složitější a nákladnější řešení.

**Mgr. JIŘÍ ZMÍTOKO, zmitko@3-g.cz,
3G Consulting Engineers, s.r.o.**

**Recenzovali Reviewed: Ing. Pavel Polák,
Ing. Vladimír Prajzler**

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TE01020168 – projekt CESTI.



Obr. 17 Ukázka společné „Geo“ prezentace, geologie a geotechnika, průběh konvergencí v závislosti na zhoršení geologických podmínek

Fig. 17 Exhibit of common “Geo” presentation, geology and geotechnics, history of convergences depending on the deterioration of geological conditions

from the aspect of the comparison with construction projects in the Czech and Slovak Republics.

The task to solve “common” problems associated with the tunnel excavation (instability of excavation face, increase in deformations, changing the system of disintegration, etc.) is completely left in the competency of the team present on site. Measures are adopted immediately and are fully accepted by the contractor.

Changes in the excavation support schemes always adhered to all safety principles, but at the same time, the maximum stress was put on economy.

In this system the excavation support in the 2600m long tunnels was changed approximately 30 times in each tunnel tube. All changes were exactly implemented and adhered to by the contractor even in these cases.

The difference in the stress put on quick surveying of convergence measurement profiles and adhering to the principle of equal time between the installation of the measurement points and zero measurements carried out on them is also evident. The spacing of the convergence profiles is also significantly smaller. This solution provides not only more detailed knowledge of the development of deformations, but it also allows for responding to contingent changes.

From contractor’s point of view, the perfect mastering of the work operations in the excavation cycle is obvious. The excavation rate of six to seven excavation rounds per day was a commonplace.

With respect to the ever more frequent information about the intention to commence the work on high-speed railway tracks in the Czech Republic, which will be necessarily connected to the lines existing in neighbouring countries, it is necessary to follow the development, the way of construction and problems associated with the development of both the already operating high-speed railway tracks and the tracks currently underway.

Despite the fact that each tunnel construction is in its substance original, several projects very similar to some planned construction projects in the Czech Republic will exist. In such cases it would be very recommendable to learn lessons from those projects and not to search for other, often more complicated and more expensive solutions.

**Mgr. JIŘÍ ZMÍTOKO, zmitko@3-g.cz,
3G Consulting Engineers, s.r.o.**

This paper was prepared with the support of the Technological Agency of the Czech Republic grant TE01020168 – CESTI project.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH und BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT GmbH (03/2015), Gutachten zur Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik, Abschnitt ST. Paul-Aich, km 75.725 – km 82.100, ÖBB-Infrastruktur AG, Ausschreibungsprojekt Tunnelkette Granitztal
- [2] PGGT Planungsgemeinschaft Tunnelkette Granitztal Tunnelbau, iC Consulanten – IGT Geotechnik und Tunnelbau (2014), ÖBB-Infrastruktur AG, Tunnelkette Granitztal, Ausführungsprojekt
- [3] Ůbleis, M., Wagner, S., Zmitko, J., 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH, Geologisch-hydrogeologische Dokumentation, B12973: Baulos 50.4 – Tunnelkette Granitztal, ÖBB-Infrastruktur AG