

# RAŽBA TBM TUNELU VODNÍ ELEKTRÁRNY V GRUZII S ČESKOU ÚČASTÍ TBM DRIVING OF A TUNNEL FOR HYDROPOWER PLANT IN GEORGIA WITH CZECH PARTICIPATION

PETR JAKEŠ, LEOŠ VALIGURSKÝ, MARCEL RÜCKL, SIMONA POHORILJAK

## ABSTRAKT

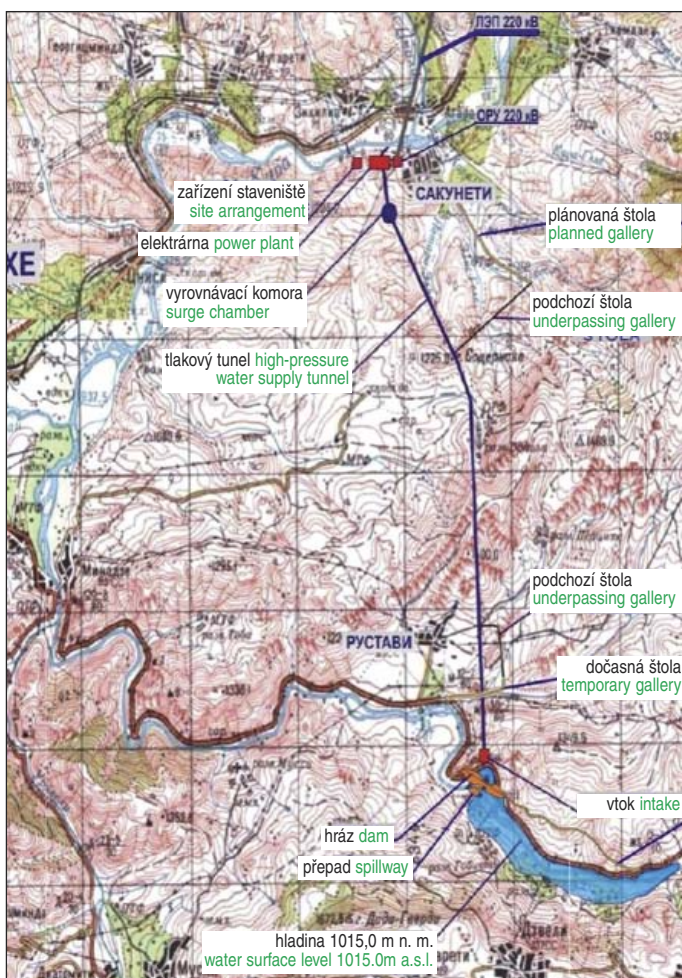
ŠKODA PRAHA a.s. v těsné spolupráci se společností SAMSON PRAHA, spol. s r.o., se v roli technického dozoru na straně investora a geotechnického dohledu podílí na výstavbě vodní elektrárny o výkonu 53 MW na řece Mtkvari o spádu 100 m. Výstavba je prováděna v horském prostředí v nadmořské výšce 1016 m n. m. poblíž okresního města Akhaltsikhe, které je centrem regionu Samcche-Džavachetie v Gruzii. Jedná se o elektrárnu pokrývající odběrové špičky, s vodní nádrží, tlakovým přiváděčem se dvěma soustrojími, kde má každé soustrojí vertikální Francisovu turbínu a generátor.

## ABSTRACT

ŠKODA PRAHA joint-stock company, in close collaboration with SAMSON PRAHA, Inc., participates in the role of the Project Engineer for the project owner and geotechnical supervisor in the construction of a 53MW hydropower plant on the Mtkvari river with the fall of 100m. The project is being implemented in a mountainous environment at the altitude of 1016m a.s.l., near the district town of Akhaltsikhe, which is the centre of the Samcche-Džavachetie region in Georgia. The hydropower plant covers peaks in power consumption. It comprises a water reservoir, a high-pressure water supply tunnel with two power generating sets, where each set has got a vertical Francis turbine and a generator.

## POPIS PROJEKTU

Pro situování elektrárny, tj. přehradní nádrže (přehrady a zátopové oblasti) a umístění strojovny, byl využit přirozený oblouk toku řeky Mtkvari, obtékající a prorážející horský hřbet (obr. 1, 2, 3). Tlakový přiváděč (tunel) má projektovanou



Obr. 1 Situace zájmové oblasti s umístěním tunelu  
Fig. 1 Map of the area of interest with the tunnel location marked in it

## PROJECT DESCRIPTION

A natural bend of the Mtkvari river, flowing around and breaking through a mountain ridge (see Figures 1, 2, 3), was used for the location of the power plant, i.e. the dam reservoir (the dam and the flood-prone area) and the turbine house. The design length of the high-pressure water supply tunnel (internal diameter of 5.26m) amounts to 9.6km. The total height of the surge chamber preventing water hammering is 84m. It consists of a 5m-diameter and 46m deep shaft with a 20m-diameter and 38m deep circular chamber located above it. An independent 3m-diameter penstock leads from the tunnel to each turbine. The dam is designed as an earthfill structure with clay seal and a 12m-wide spillway at the upper part of the reservoir. The height of the dam measured from the dam base amounts to 27m. The crest of the dam is located at the altitude of 1016m a.s.l. The reservoir is 2.5km long and the total volume amounts to 6.13 million m<sup>3</sup>. The external substation is placed next to the river. The 220kV power line is 2.7km long.

### Dam structure

The dam is designed as an earthfill dam structure. The designer preferred the construction of a 675m long dam crossing twice the bed of the river Mtkvari. This solution was probably adopted because of the necessity for diverting an interstate road, which is led along the crown of the dam with respect to unfavourable morphologic conditions. The higher wing of the dam is designed as a filtration structure, i.e. a leaking structure; its main function is to be a load-bearing structure carrying the road. The downstream lower dam is designed as an earth-stone fill structure with internal clay sealing.

The material of the stabilisation parts of the dam body consists of loose rock with the 10–500mm fraction of grain-size, sandy coarse-grained gravel and boulders up to 400mm in diameter. The central clay-based sealing core formed by clayey loam, which is the product of weathering of local argillite excavated from a landslide above the body of the higher dam and from the flood-prone area. Sand fraction is deficient in the



Obr. 2 Vyšší křídlo sypané přehradní hráze  
Fig. 2 The higher wing of the earthfill dam

délku 9,6 km s vnitřním průměrem 5,26 metru. Vyrovnávací komora proti vodnímu rázu má celkovou výšku 84 m. Sestává ze šachty průměru 5 m, hloubky 46 m a nad ní situované kruhové komory o průměru 20 m, hloubky 38 m. Z tunelu vede pro každou turbínu samostatný přívaděč o průměru 3 m. Hráz je sypaná s jílovým těsněním a s přelivem horní části nádrže širokým 12 m. Výška přehrady od paty hráze je 27 m. Koruna hráze je umístěna v 1016 m n. m. Rezervoár má délku 2,5 km a celkový objem činí 6,13 mil. m<sup>3</sup>. Venkovní rozvodna je umístěna vedle řeky. Vedení 220 kV je dlouhé 2,7 km.

### Přehradní hráz

Těleso přehrady je navrženo jako sypaná zemní hráz. Projektant upřednostnil výstavbu 675 m dlouhé hráze, přetínající koryto řeky Mtkvari hned dvakrát. K tomuto řešení se pravděpodobně přistoupilo z důvodu nutnosti převedení mezinárodní komunikace, která je, vzhledem k nepříznivým morfologickým poměrům, vedena po temeni hráze. Vyšší křídlo hráze je filtrační, tj. netěsněné, a jeho hlavní funkcí je nosná konstrukce silnice. Po proudu nižší hráz je navržena jako zemito-kamenitá sypaná, s vnitřním jílovým těsněním.

Materiálem stabilizačních partií tělesa hráze je skalní sypalina ve frakci 10–500 mm, písčité hrubozrnny šterk a valouny do frakce 400 mm. Jílové těsnící jádro je středové, tvořené jílovitou hlínou – zvětralinou místních argilitů, těženou ze sesuvu nad tělesem vyšší hráze a ze zátopové oblasti. Písková frakce je v místních poměrech deficitní, protože je získávána drcením šterku. Ten se v dostatečném množství nachází v aluviálních sedimentech recentních i starších, situovaných na temeni ostrohu meandru. Ze stejného materiálu se produkuje i šterková drť frakce 0–70 mm, která je používána jako druhá přechodová mezivrstva mezi jádrem hráze a stabilizačními partiemi.

Zemníky pro získání suroviny pro stavbu hráze byly vyhledány v bezprostředním okolí stavby. Problematickým faktorem jsou v dané oblasti seismika a především sesuvné procesy. Celá řada sesuvů se nachází nad břehy zátopové oblasti či dokonce v bezprostřední blízkosti vyššího křídla hráze, a proto budou vyžadovat stabilizační opatření. Byly zjištěny i sesuvy, které jsou v současnosti aktivní. Po naplnění nádrže se očekává další významná aktivace sesuvů s oživením pohybů nestabilních svahů. Značná seismická aktivita oblasti je dokumentována historickými záznamy.

Významnou součástí výstavby hráze je zřízení těsnící clony v podloží hráze. U té se, vzhledem k reálným podmínkám, uvažuje o změně konstrukčního pojetí od projektem doporučené klasické tlakové injecktáže k jílocementové podzemní stěně



Obr. 3 Nižší, těsněné křídlo přehrady  
Fig. 3 The lower, sealed wing of the dam

local conditions. It is therefore obtained by crushing gravel. Gravel is found in a sufficient amount in recent and older alluvial sediments located at the top of the promontory in the meander. Crushed gravel fraction 0–70mm, which is used as the second intermediate transition layer between the dam core and the stabilisation parts, is produced from the same material.

Borrow pits required for obtaining material for the construction of the dam were sought in the immediate surroundings of the construction site. The problematic factor in the particular area comprises the seismic and, first of all, land sliding processes. Many landslides exist above the banks of the flood-prone area or even in the intermediate vicinity of the higher wing of the dam. For that reason they will require stabilisation measures. Even currently active landslides were detected. Other significant activation of landslides with reactivation of instable slopes is expected after the dam reservoir is filled with water. The considerable seismic activity of the area is documented by historical records.

The construction of a sealing diaphragm in the dam base is an important part of the dam construction. With respect to the real conditions, a change in the structural concept of the diaphragm is under consideration. The classical pressure injection of grout recommended by the design would be changed to a 1500mm thick clay-cement diaphragm wall. Even jet grouting has been taken into account, but this idea will probably be abandoned with respect to the prevailing presence of boulders with the sizes reaching up to 40cm.

### Development of the tunnel excavation method

The original design assumed the tunnel realisation carried out using a conventional method with a standard set of mechanical equipment. This method was applied to the excavation of the initial ca 300m length of the tunnel. But the excavation advance rate was too low with respect to the required deadline for the completion (2 years after the excavation commencement). For that reason the project owner decided to have the original design reworked and use the offer made by the company of Herrenknecht to supply a refurbished tunnel boring machine – a double shield hard rock TBM.

### GEOLOGY

The tunnel is being driven through folded rock of the Eocene-age volcano-sedimentary complex. The area of the Lesser Caucasus, the Samcche-Džavachetie region, in which the area of interest is located, is just characterised by the prevalence or nearly exclusive occurrence of such rock types. The rock was folded in an Alpine-type process in the Pyrenees



tloušťky 1500 mm. Zvažována byla i trysková injektáž, od které bude zřejmě upuštěno, vzhledem k hojnému až převažujícímu zastoupení valounů o velikosti dosahující až 40 cm.

### Vývoj způsobu provádění tunelu

Původní projekt předpokládal realizaci tunelu konvenčním způsobem s pomocí standardní strojní sestavy. Tímto způsobem bylo také vyraženo prvních cca 300 m tunelu. Postup razících prací však byl příliš pomalý vzhledem k požadovanému termínu dokončení za dva roky od zahájení ražeb. Proto se investor rozhodl tento původní návrh přepracovat a využít nabídky společnosti Herrenknecht na dodávku repasovaného tunelovacího stroje TBM double shield hard rock.

### GEOLOGIE

Tunel se rází zvrásněnými horninami vulkanosedimentárního komplexu eocenního stáří. Oblast Malého Kavkazu – region Samcche-Džavachetie, ve kterém se zájmové území rozprostírá, se vyznačuje právě převládáním či až téměř výhradním výskytem takovýchto hornin. Horniny byly zvrásněny alpinotypně v pyrenejské fázi alpinské orogeneze. Vulkanismus vrásnění částečně předcházel jako iniciální, částečně probíhal jako synorogenní. Chemismus vulkanismu je vesměs andezitický. Horniny jiné než vulkanické či vulkanosedimentární geneze se v oblasti prakticky nenacházejí. Sedimentace se dělí v nejhrubějším pohledu na dvě dále popsané fáze.

Na bordžomském spodnoeocenním flyšovém komplexu (v zájmovém území nevycházejícím) spočívá středněeocenní komplex tvořený převážně vulkanickými, masivními a tlustě vrstevnatými tufitickými aglomeráty/vulkanickými brekciemi, tufy i andezitovými lávovými příkrovy s proplásky (tufitických) pískovců a prachovců, tedy pravděpodobně popelových a pískových tufů, možná ale do značné míry geneticky spíše tufitů. Andezity tvoří příkrovy s náznaky hrubě sloupovité odlučnosti, místně mají charakter subakvatických výlevů – polštářových láv.

Svrchní eocén je reprezentován převážně prachovci s proplásky pískovců a tufů. Zdrojem jejich materiálu jsou nepochybně opět buď přímo sopečné popely, nebo zvětraliny všech druhů vulkanických hornin. Horninám tohoto sedimentárního komplexu patrně odpovídají ve valné většině tzv. argility (ruská/sovětská terminologie), ve kterých probíhá ražba naprosto převažující délky tunelu. Ty lze popsat jako tmavě šedé, proměnlivě zpevněné homogenní, zřetelně nebo skrytě laminované, vizuálně masivní jílovitoprachovité horniny – jílovité prachovce nebo prachovité jílovce, sedimentované v obrovských mocnostech. Vrstvy a laminy (prachovitější či písčitéjší) jsou mocností od několika mm do několika m. Nežádka jsou argility/prachovce vápnité – světleji šedé barvy. Mívají písčitéjší proplásky nebo dokonce proplásky „mastných“ tmavě šedých jílu. Ty působí vážné geotechnické obtíže, viz níže.

Geneticky jsou argility pravděpodobně produktem sedimentace zvětralin popelových tufů nebo přepravených zvětralin ostatních vulkanoklastik v jezerním/mořském prostředí. Z průběhu a rovnoměrnosti vrstev je patrné, že jde o tercierní sedimentaci, která probíhala ve značně rozlehlých a relativně klidných vodních prostředích, umožňujících vznik velmi mocných, rovnoměrně vrstevnatých a laminovaných sedimentů. Pánve byly pravděpodobně odděleny „ostrov“ s mohutnou

phase of the Alpine orogenesis. Volcanism partially preceded the folding as the initial phenomenon, partially developing as a synorogenic process. The chemistry of the volcanism is mostly andesitic. We encounter virtually no other rock types than volcanic or volcano-sedimentary genesis rock types in the area. In the roughest terms, the sedimentation process is divided into two phases described below.

A Middle-Eocene complex lies on the Borjomi Lower-Eocene flysh complex (not cropping in the area of interest). The complex is formed mostly by volcanic, massive breccias and heavy-bedded tuffitic agglomerates /volcanic breccias, tuff and andesite lava overthrust sheets with (tuffitic) sandstone and siltstone intercalations (probably ash and sandstone tuffs, possibly genetically to a large extent rather tuffites. The andesites create nappes with marks of roughly columnar jointing, locally with the character of sub-aquatic effusion – pillow lavas.

The Upper Eocene is represented mainly by siltstone with sandstone and tuff intercalations. The source of this material undoubtedly lies again directly in volcanic ash or in products of weathering of all types of volcanic rock. The so-called argillite (Russian/Soviet terminology), through which the majority of the tunnel length is driven, probably corresponds in the vast majority to rock types of this sedimentary complex. It can be described as dark grey, variably solidified, homogeneous, with visible or hidden lamination, visually massive clayey-silty rock – clayey siltstone or silty claystone, sedimented in very thick beds. The thickness of the layers and laminae (more silty or more sandy) ranges from several centimetres to several metres. The argillite/siltstone is often calcareous – lighter grey colour. The beds often contain more sandy intercalations or even “greasy” dark grey clay intercalations. They cause serious geotechnical difficulties, see below.

Genetically, the argillite is probably a product of sedimentation of products of weathering of ash tuff or redeposited products of weathering of other volcanoclastic rock types in the lacustrine/marine environment. It is obvious from the course of the layers and their uniformity that it is the Tertiary sedimentation, which continued in significantly large and relatively still water environments allowing for the origination of very thick, regularly bedded and laminated sediments. The basins were probably separated by “isles” with massive subaerial volcanogene, mostly volcanoclastic sedimentation. But overall, argillite rock types are visually homogeneous, forming very massive series of strata.

These rock types are encountered along the tunnel route (layers dipping ca 45° in the direction of the tunnel excavation) at a many kilometre length. A certain role is played by tectonic repetition of beds following from the folding or overthrust tectonics.

The overall thickness of the Middle and Late Miocene is stated at 1100m. The fact that these sediments form nearly the whole ten-kilometre length of the mined tunnel, where the dip of layers about 45° prevails, gives evidence of the tectonic repetition of the folding.

The Late Miocene up to the Medium Pliocene is represented by dolerite and andesitic lava/intrusive bodies and their pyroclastics. The generally mentioned thickness exceeds 300m.

There are tuffites, tuffs, tuffitic breccias /agglomerates of andesitic volcanism with andesitic overthrust bodies – lavas with quasi-columnar jointing there, locally with the character

subaerickou vulkanogenní, převážně vulkanoklastickou sedimentací. Souhrnně jsou ale argility horninami vizuálně homogenními, tvořícími velmi masivní souvrství.

V trase tunelu se tyto horniny vyskytují (při upadání vrstev cca 45° ve směru ražby) v mnohakilometrové délce. Jistou roli hraje tektonické opakování vrstevního sledu, plynoucí ze zvrásnění, případně násunové tektoniky.

Úhrnná mocnost středního a svrchního miocénu je udávána 1100 m. Skutečnost, že tyto sedimenty tvoří bezmála celou, téměř desetakilometrovou délku raženého tunelu, přičemž převažuje sklon vrstev okolo 45°, vypovídá o tektonickém opakování vrásnění.

Svrchní miocén až střední pliocén je reprezentován dolerity a andezitickými lávami/intruzivními tělesy a jejich pyroklastiky. Zmiňovaná mocnost je přes 300 m. Jedná se o tufity, tufitické brekcie/agomeráty andezitického vulkanismu s andezitovými příkrovovými tělesy – lávami s kvazisloupoovitou odlučností, místy s charakterem polštářových láv, s žilnými proniky těšinitů, místně i výchozy/tělesy andezitických porfyrů. Lokální jsou polohy rozsivkových laminovaných silicitů. V okolí žil či podkladu lávových výlevů se nalézají kontaktní rohovce vzniklé právě většinou z argilitů.

Oligocén a spodní miocén je ve zdejší oblasti pravděpodobně hiátem, vzhledem k tomu, že ve stratigrafických tabulkách není zmiňován. Bylo by logické, že tufitické sedimenty vznikaly právě v období nejsilnější eroze, a mohou tudíž mít z velké části právě toto stáří.

V mnoha geologických profilech bylo zaznamenáno rychlé střídání tufitů, popelových (prachovitých) i písčitých, lokálně jemně laminovaných, pravděpodobně rozsivkových, křemitých horizontů (limnokvarcitů) bělavé, růžové a nahnědlé barvy, chaotických laharových sedimentů a nejrůznějších diskordantních přechodů do terigenních subaerických pyroklastik nebo i příkrovových lávových výlevů. Výlevy jsou lokálně subakvatické s charakterem polštářových láv. V trase tunelu nicméně naprosto převažují „argility“.

### Geotechnické vlastnosti hornin

*Poznámka: Pro geotechnickou klasifikaci pevnosti hornin byl použit standard doporučený asociací ISRM (1981), kde je odlišná škála tříd (R0 až R6) od tříd pevnosti používaných v ČR.*

Geotechnickými vlastnostmi spadají nejvíce zastoupené argility (jílovité prachovce, prachovité jílovce) pod poloskalní horniny R2 až R3, lokálně dokonce proložené propláskami zajímavých tmavě šedých „mastných“ jílovců třídy R1, dost možná tektonicky/kinematically pozměněných (anchimetamorfovaných). Tufitické pískovce jsou naopak horniny třídy R4, možná i vyšší, překvapivě pevné a houževnaté, modravě šedé barvy. Specifikem argilitů je jejich rychlé zvětvávání za přístupu vzduchu, kdy se na odvalu rozpadají během několika dnů. To způsobuje jistě nebezpečí v případě nedostatečně kvalitně provedené výplňové injeckáže za rubem segmentů. Doprovodným jevem větrání argilitů je vznik sádrovce.

V argilitech je ražba velmi snadná a rychlá. Výrub tunelu je při včasné instalaci ostění a výplňové injeckáži stabilní. Deformace výrubu jsou v těchto úsecích malé.

Vzhledem k jílovcovité povaze a tedy jisté plastičnosti hornin jsou pukliny sevřené a hornina vcelku působí jako nepropustná. K přítokům do tunelu skrze takovéto horninové prostředí prakticky nedochází. Je to způsobeno také tím,

of cushion lavas, with venous intrusions of teschenit, locally even outcrops /bodies of andesitic porphyrites. Local layers of kieselguhr laminated silicate occur locally. Contact hornfels originating from argillites are encountered in the vicinity of veins or of the basement of lava effusions.

The Oligocene and Early Miocene is probably a hiatus in the local area with respect to the fact that it is not mentioned in stratigraphic tables. It would be logical that tuffitic sediments originated just during the period of strongest erosion, and for that reason their age could be mostly derived from it.

Rapid alternation of tuffites, ash (silty) and sandy, locally finely laminated, probably kieselguhr-type, quartzose horizons (limnoquartzite), whitish, pink and brownish, chaotic lahar sediments and various discordant transitions to terrigenous subaerial pyroclastics or even overthrust lava effusions were recorded in many geologic profiles. The effusions are locally subaquatic with the character of cushion lavas. Nevertheless, “argillites” totally prevail along the tunnel route.

### Geotechnical properties of rock

*Note: The geotechnical classification is American – ISRM (1981) Rock Characterization Testing and Monitoring. Brown, E., Ed., Pergamon Press, Oxford, 211 p.*

By their geotechnical properties, the most represented argillites (clayey siltstone, silty claystone) come under semi-rock classes R2 up to R3, locally even containing intercalations formed by interesting dark-grey “greasy” claystone class R1, quite possibly tectonically/kinematically altered (anchimetamorphosed). Just opposite, the tuffitic sandstone is classified as R4, possibly even higher. It is surprisingly strong, resilient; the colour is bluish grey. A specific property of argillite is the rapid weathering in the presence of air, causing the disintegration on stockpiles during several days. It poses certain danger in the case of insufficient quality of backgrouting (grouting behind lining segments). The origination of gypsum is an accompanying phenomenon of the weathering of argillites.

Driving tunnels through argillites is very easy and quick. Tunnel excavation is stable when the lining and back grouting is carried out timely. Excavation deformations in those sections are small.

With respect to the claystone-like nature, therefore certain plasticity of rock, fissures are tight and the rock acts as impermeable mass. Inflows into the tunnel through such the rock environment virtually do not occur. It is also caused by the fact that surface weathering products of argillite are formed by a mantle of low permeability clayey loams, which does not allow for more significant infiltration of rain. Storm water is mostly evacuated through erosion ravines (ovrags) i.e. in the form of surface run off. However, even quartziferous parts or parts indurated by firing on contact with volcanic bodies, veins and intrusive beds exist. In these cases it is already rock classified as R4, stronger and significantly brittle, often crushed and saturated with water. In such the places water and crushed rock breakouts into the tunnel and excavation instability occurred.

On the contrary, “greasy” claystone intercalations with the paraffin stickiness, giving the impression of steatite additions, occurred during the tunnel excavation. Their strength is at the limit of R1–R0 soils. The plasticity of these parts has still caused serious problems for the excavation advance. The squeezing property of the intercalations causes significant plastic

že povrchové zvětraliny argilitů tvoří plášť jílovitých hlín s malou propustností nedovolující významnější infiltraci srážek. Srážky jsou většinou odváděny erozními stržemi (ovragy) povrchovým odtokem. Existují ale i partie prokřemenělé nebo zpevněné vypálením na kontaktu s vulkanickými tělesy, žilami a vrstevními intruzivními tělesy. V těchto případech se již jedná o horninu třídy R4, pevnější a značně křehkou, namnoze podrcenou a zvodnělou. V takových místech docházelo k průvalům vody a drtí horniny do tunelu a k nestabilitě výrubu.

Při ražení tunelu se vyskytovaly naopak „mastné“ jílovcové proplásky parafinové mazlavosti vzbuzující dojem přítomnosti příměsí mastku. Jejich pevnost je na hranici zemin R1-R0. Plasticita těchto partií dosud činí velké potíže při postupu ražby. Tlačivost proplásků způsobuje významné plastické deformace – zúžení konvergence profilu tunelu až o 10 cm.

Dolerity, těšínity a různé druhy andezitů nacházející se v trase tunelu jsou pevnými horninami třídy R5 až R6. Ty se projevují abrazivitou na rozpojovacích dlátech stroje a vykazují značnou prašnost při ražbě. Nejpodstatnější je ale jejich puklinová propustnost, která při zvodnění nadloží opakovaně způsobuje průvaly vody a horninového materiálu k hlavě stroje TBM a do stroje. Tím dochází ke vzniku kaveren, komínujících do výšky i přes 15 m. Kaverny je nutné následně plombovat výplňovým betonem.

Takto komplikované podmínky se však vyskytly v dosavadním průběhu ražeb naštěstí pouze omezeně. Ke vzniku kaveren pak, na zatím vyražené délce tunelu, došlo ve dvou případech na úsecích dlouhých cca 30 m.

#### Geomorfologické charakteristiky terénu a pozice tunelu

Kromě „měkkého“ erozně-denudačního charakteru terénu, rozčleněného mnohými výraznými erozními rýhami a sesuvy v měkkých, snadno erodovatelných argilitech jako nejvýraznější morfologický/reliéfotvorný prvek v ose tunelové ražby, vystupuje výrazná kuesta (geomorfologický termín, označující asymetrický vrchol hory nebo hřebenu, tvořeného mírně ukloněnými vrstvami odolných hornin (do 7°), které se střídají s vrstvami méně odolných hornin) s úklonem vrstev 30° k SZ. Tunel ji proráží téměř kolmo. Tato kuesta může být buď čelem možného přesmyku, nebo projevem inverzního reliéfu. Díky členitosti reliéfu jsou úseky tunelu v různých hloubkách. Pod hřebenem kuesty je tunel v hloubce cca 300 m, v průchodu pod nejhlubší erozní rýhou (ovragem) je hloubka jen cca 28 m. Zvrásnění argilitů se morfologicky projevuje minimálně.

#### Tektonika – geologická struktura oblasti

Jak bylo řečeno, zájmová oblast je interpretována jako dílčím zvrásněním postižená součást antiklinoria bez významnějších prvků disjunktivní tektoniky. Podle tektonických měření v tunelu, ale i podle doplňkového geologického mapování má

deformations – increasing the tunnel profile convergence by up to 10cm.

Dolerite, teschenit and various kinds of andesite existing along the tunnel route are hard rock types, classes R5 to R6. They manifest themselves by abrasivity on cutting tools of the machine and exhibit significant rate of airborne dust during the excavation. But their fissure permeability is most substantial. When the overburden is saturated with water, it repeatedly causes water and rock material flowing to the TBM cutterhead and inside the machine. As a result, caverns develop reaching the height even over 15m. The caverns have to be subsequently packed with backfill concrete.

Fortunately, so complicated conditions were encountered during the previous excavation only to a limited extent. Caverns in the so far excavated tunnel length originated only in two cases, in ca 30m long sections.

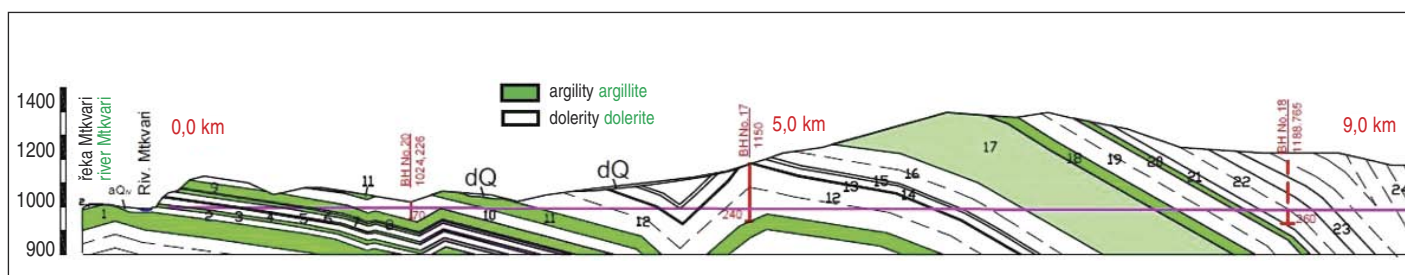
#### Geomorphological characteristics of terrain and the tunnel location

Apart from the “soft” erosion-denudation character of the terrain, which is divided by many significant erosion ravines and landslides in weak, easy to erode argillite, a significant cuesta (a geomorphological term marking an asymmetric peak of a mountain or a ridge formed by slightly dipping (up to 7°) layers of durable rock, alternating with layers of less durable rock), dipping NW at 30°, rises as the most distinct morphological/relief-forming element on the tunnel excavation centre line. The tunnel breaks through it nearly perpendicularly. This cuesta can be either the front end of a possible overthrust or a manifestation of an inverse relief. Owing to the dissected relief, the tunnel sections are at various depths. Under the cuesta ridge, the tunnel is at the depth of ca 300m; at the passage under the deepest erosion ravine (the ovrag) the depth is only ca 28m. The folding of argillites manifests itself morphologically only minimally.

#### Tectonics – geological structure of the area

As mentioned above, the area of interest is interpreted as a part of an anticlinorium affected by partial folding, without more significant elements of disjunctive faulting. According to tectonic measurements inside the tunnel, but also according to complementary mapping, it has rather the monoclinical character with the prevalent NNW trend of strata, probably with brittle tectonics, manifesting itself by the overthrust, see the cutout from the geological section in Fig. 4. It is possible to agree with the opinion that it may be the northern wing of a mega-anticline.

With respect to the not too detailed geological probing of the area and availability of geological maps of only smaller scales, the knowledge obtained from the complementary geological mapping and from the documentation of the tunnel excavation itself partially differs from assumptions. Nevertheless, even



Obr. 4 Podélný geologický řez  
Fig. 4 Longitudinal geological section





Obr. 5 Čelo významné kuesty, tunel proráží kuestu kolmo v bezprostředním okolí obce Rustavi (na obrázku nahoře)

Fig. 5 Front end of the important cuesta; the tunnel breaks through the cuesta perpendicularly in the immediate vicinity of the village of Rustavi (at the top of the picture)

však charakter spíše monoklinální, s převažujícím úklonem vrstev k SSZ, s pravděpodobnou křehkou tektonikou, projevující se přesmykem, viz výsek geologického řezu na obr. 4. S tím, že se může jednat o severní křídlo megaantiklinály, lze souhlasit.

Vzhledem k ne příliš podrobné geologické prosondovanosti území a dostupnosti geologických map pouze menších měřítek, se poznatky získané z doplňkového geologického mapování a z dokumentace samotné ražby částečně liší od předpokladů. Nicméně ani nově získané informace neumožňují detailní jednoznačnou interpretaci geologické struktury. Jde spíše o strukturální hypotézy. K hypotéze o tom, že ražba procházela ve značném úseku porušenou zónou násunové plochy přesmyku, přispěly obtíže, které se v těchto místech objevily (viz zmíněná mylonitizace a tlačivost). Morfologicky pro subhorizontální přesmyk svědčí poloha kuesty (se sklonem cca 30°) k SZ (obr. 5).

Alternativou subhorizontálního přesmyku, projevujícího se výše zmíněnou kuestou, může být i inverzní reliéf, ponechávající morfologicky vystupovat jedno rameno antiklinály jako kuestu. Tím ovšem není dobře vysvětlena tektonická porušenost zastížená ražbou právě pod kuestou.

Základní geologická mapa ukazuje pro předmětnou oblast v VSV pokračování kuesty geologický přesmyk se strmým úklonem k jihu. Morfologické pozorování a poznatky z dokumentace postupu ražby by hovořily spíše pro přesmyk s mírným úklonem k severu a násunem severních mas na masy jižněji položené. Tento násun by probíhal částečně po vrstevních plochách, částečně zřejmě po zvlněných plochách novotvořených s možným vlekem vrstev a případnou digitací (obr. 6).

Z dokumentovaných geologických projevů v tunelu pro tento násun hovoří naražení mylonitizované zóny charakteru sypké kamenitopísčité zeminy a naražení „rozkluzaných“ (výše zmínovaných) jílovců s velmi výraznými tektonickými „zrcadélky“.

V první čtvrtině ražby tunelu byla proražena zóna s výskytem mastkové břidlice, indikující kontakt bazaltické dajky s vápnným prachovcem (argilitem), v zóně subvertikálního zlomu. Germanotypní tektonika je tedy rovněž přítomna.

## RAŽBA TBM

Postup ražby je pravidelně dokumentován místními geology dodavatele. Přístupnost čelby je velmi omezená. Strukturálně-tektonická měření jsou velmi problematická. Horninový typ je

the newly obtained information does not allow for detailed unambiguous interpretation of the geological structure. It is rather the case of structural hypotheses. The problems which appeared (see the above-mentioned mylonitisation and the squeezing property) contributed to the hypothesis that the tunnel excavation passed along a significant section disturbed by an overthrust plane. Morphologically, the NW position of the cuesta (dipping at ca 30°) (see Fig. 5) gives evidence of a sub-horizontal overthrust.

Even the inverse relief, letting one shoulder of the anticline rise as the above-mentioned cuesta, may be an alternative of the sub-horizontal overthrust manifesting itself by the cuesta. But the tectonic disturbance encountered by the tunnel excavation just under the cuesta is not well explained by the hypothesis.

The basic geological map for the particular area in the ENE continuation of the cuesta shows a geological overthrust dipping steeply south. The morphological observation and the knowledge obtained from the documentation of the excavation process would rather suggest an overthrust moderately dipping north and the northern masses slipping over the masses lying more southerly. This overthrust would proceed partially along bedding planes and partially, obviously, along newly developed folded surfaces, with the possible dragging of the strata and possible digitations (see Fig. 6).

Encountering the mylonitised zone with the character of loose stony-sandy soil and encountering the above-mentioned “greasy” claystone with highly marked faulting polishes is a documented geological manifestation speaking up for this overthrust.

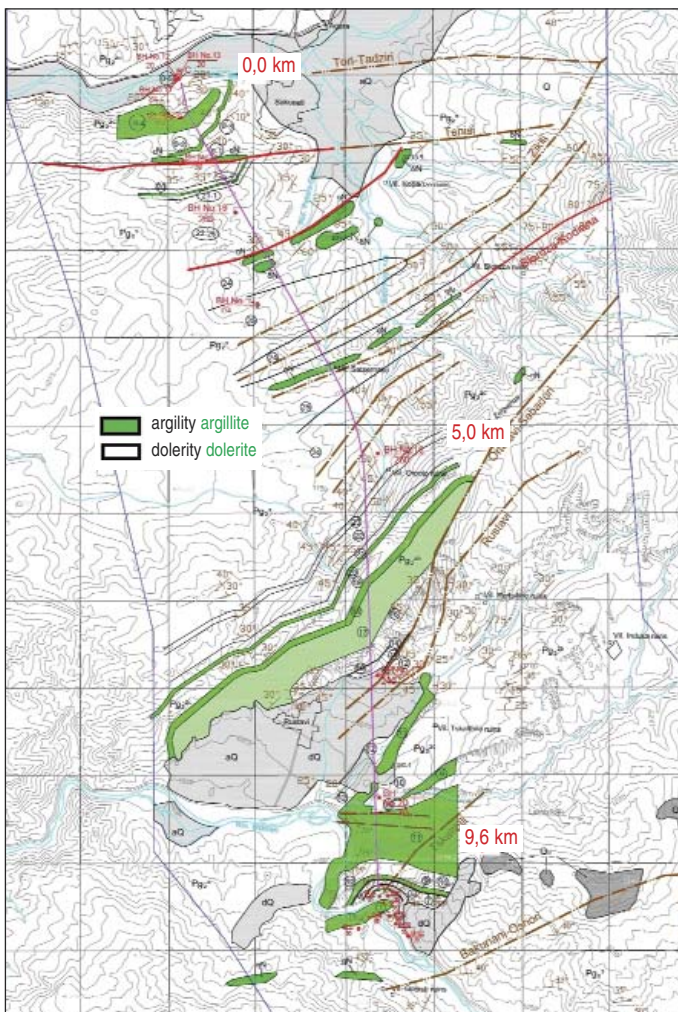
A zone with the occurrence of steatite shale, indicating a contact of the basalt dajka with calcareous limestone (argillite) in the sub-vertical fault zone was driven through in the first quarter of the tunnel excavation. It means that German type faulting is also present.

## TBM TUNNELLING

The tunnel excavation advance is regularly documented by contractor’s local geologists. The access to the excavation face is very limited. Tectonic and sedimentological measurements are very problematic. The ground type is observed continually on the belt conveyor. Apart from the ground type, the bedding, degree of tectonic disturbance, other structural elements and, of course, saturation with water are observed during visits to the excavation heading.

### Tunnel excavation advancing

The excavation mostly passes through dry and little crushed argillite, where the advance is relatively smooth and very fast – rates up to 30m per day (20 lining rings). Problems were encountered when the water-bearing brittle rock forming an aquifer between impermeable argillite layers were tapped. In those locations groundwater and crushed rock broke out into the machine space. Another very problematic section was encountered when the excavation arrived at a crushed zone filled with tectonic mylonite (probably the above-mentioned fault/overthrust zone). Caverns developed and even “daylight” collapses occurred in these sections. But after some time the crushed zone disappeared from the excavation profile. A little later, the tunnel excavation got to squeezing manifestations caused by highly plastic claystone intercalations in the argillite. Very pronounced faulting polishes, slickensides, are visible in the claystone. They are situated both along and across the



Obr. 6 Účelová geologická mapa  
Fig. 6 Purpose-made geological map

sledován průběžně při odvozu na dopravníku. Při návštěvách čelby se sleduje kromě horninového typu i vrstevnatost, míra tektonického porušení, další strukturní prvky a samozřejmě zvodnění.

#### Postup ražby

Ražba převážně prochází v suchých a málo drcených argilitech, kdy je průběh poměrně hladký a velmi rychlý – až 30 m (20 prstenců) za den. Problémy nastaly při naražení zvodnělých křehkých hornin, které jsou zvodní mezi nepropustnými argilitovými vrstvami. Tam docházelo k průvalům podzemní vody a horninové drti do stroje. Dalším velmi problematickým úsekem bylo naražení drcené zóny vyplněné tektonickým mylonitem, pravděpodobné zóny zlomu/přesmyku (viz výše). Zde docházelo ke vzniku kaveren a dokonce vykomínování k povrchu. Tato drcená zóna však po nějakém čase z profilu ražby vymizela. O něco dále se ražba tunelu dostala do tlačivých projevů způsobených silně plastickými jílovcovými proplásky v argilitech. V jílovcích jsou patrné velmi zřetelné ohlasy tzv. tektonická zrcadla. Tyto jsou situovány jak po vrstevních plochách, tak i napříč nimi. Je patrné tektonické prohnětení. Je možné, že se jedná o pokračování zóny přesmyku, násunové plochy, která si našla nejměkčí/nejslabší plochy stříhu. Dokládá to pravděpodobnost ražby napříč významnou geologickou poruchou (jednou z dílčích násunových ploch).

Z povrchového mapování je patrný výchoz smykových ploch, podcenění a překocení vrstev v úpatích svahů nad vesnicí Rustavi.

bedding planes. Tectonic kneading is obvious. It is possible that it is the continuation of the overthrust zone, which found the softest/weakest shearing planes. It is the evidence that the excavation runs crosswise an important geological fault (one of the partial overthrust planes).

An outcrop of shear planes, crushing and inverted strata at the bases of slopes above the village of Rustavi are obvious from the mapping.

#### Effects during the course of tunnelling – geotechnical conditions

The occurrence of semi-rock or disintegrated weak rock represents significant problems for the tunnel excavation using the double-shield-type Herrenknecht S-674 TBM. In some locations the strength drops to class R1 or even down to R0 (according to ISRM 1981). In such the conditions, ground starts to exert pressure on the TBM and the tunnel lining and the cutting effectiveness drops to a minimum.

The fissure-type saturation of brittle rock types lying between impermeable argillite layers represents other complications. It caused water and crushed rock breakouts into the machine space. The crushed zone with the character of mylonitic sandy soil also caused breakouts and development of caverns.

Certain problems had to be overcome even in the locations where the TBM drove through an inhomogeneous environment, where the excavation profile comprised a hard volcanic vein – basalt (dark andesite) on one side and semi-rock argillite on the opposite side. It caused mechanical failures of the hydraulic cutterhead extension system. The whole section had to be driven through in the single shield mode.

#### Basic technical data on the tunnel

The tunnel excavation diameter is 6m, the tunnel length amounts to ca 9.7km. The horizontal alignment is nearly straight; the vertical alignment is inclined at 0.5%. The tunnel is driven from the future power plant in an uphill gradient.

The lower ca 300m long section of the tunnel was driven conventionally using blasting and a roadheader. The excavation was temporarily supported only with a thin layer of shotcrete and, in selected locations, in addition with welded mesh and frames from steel H-sections. Welded steel lining forming a pressure tube will be in addition installed into the final cast-in-place tunnel lining in this section. This tube will pass into the high-pressure penstock behind the tunnel, through which water is supplied to turbines.

A 46m deep shaft with a 38m deep subsurface surge chamber above it is designed at the distance of ca 200m from the portal.

#### Launching the TBM from a completely excavated tunnel section

During the assembly of the TBM in front of the tunnel portal, the TBM was gradually shifted into the in advance excavated tunnel part, as described above. After the completion, the machine was moved in steps along a reinforced concrete cradle up to the end of the above-mentioned 300m long section excavated in advance, where the full-face TBM excavation and installation of tunnel lining consisting of reinforced concrete segments commenced (see Figures 7, 8, 9 and 10).



### Efekty při tunelování – geotechnické poměry

Pro ražbu strojem TBM Herrenknecht S-674, který je typu double shield, představuje výskyt poloskalních nebo rozrušených měkkých hornin značné obtíže. V některých místech pevnost hornin klesá ke třídě R1 nebo až na R0 (dle ISRM 1981). V takových podmínkách horniny začínají tlčit na štít i tunelové ostění a řezná účinnost hlavy klesá na minimum.

Puklinové zvodnění křehkých hornin ležících mezi polohami nepropustného argilitu představuje další komplikaci a způsobilo průvaly vody a horninové drti do stroje. Drcená zóna charakteru mylonitické písčité zeminy rovněž působila průvaly a kavernování.

Jisté problémy byly překonávány i v místech, kde štítrazil v nehomogenním prostředí – v profilu tvořeném z jedné strany tvrdou vulkanickou žilou – čedičem (tmavým andezitem) a z druhé strany poloskalním argilitem. To způsobilo mechanické poruchy na hydraulickém systému výsuvu řezné hlavy štítu. Úsek musel být proražen v modu single shield.

### Základní technické údaje tunelu

Průměr výrubu tunelu je 6 m, délka tunelu cca 9,7 km. Směrově je tunel téměř v přímé linii, výškově má sklon 0,5 %. Ražba tunelu probíhá dovrchně od budoucí elektrárny.

Dolní úsek tunelu v délce cca 300 m byl vyražen konvenčně pomocí trhacích prací a tunelové frézy. Výrub je dočasně zajištěn pouze slabou vrstvou stříkaného betonu a ve vybraných místech navíc s výztužnými sítěmi a rámy z ocelových I-profilů. Do definitivního monolitického tunelového ostění bude v tomto úseku instalováno ještě ocelové svařované opláštění, které tvoří tlakové potrubí. To plynule přejde v konstrukci tlakového přiváděče za tunelem, kterým je voda přiváděna na turbíny.

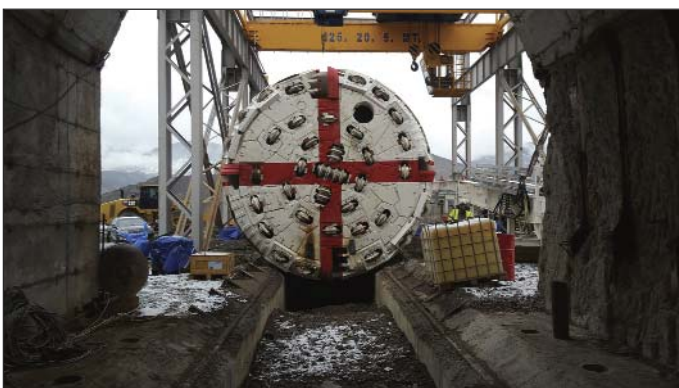
Ve vzdálenosti cca 200 m od portálu je nad tunelem navržena šachta hloubky 46 m a nad ní podpovrchová komora proti vodnímu rázu hluboká 38 m.

### Zahájení ražby TBM ve vyraženém tunelu

Při montáži TBM před portálem tunelu byl postupně zasouván do předem vyražené části tunelu, jak bylo popsáno výše. Po kompletaci stroje byl stroj postupnými posuny po železobetonové kolébce dopraven na konec zmíněného 300 m dlouhého předem vyraženého úseku, kde začalo ražení štítem plným profilem s montáží tunelového ostění z železobetonových dílců (obr. 7, 8, 9, 10).

### Technické řešení tunelu a postup ražby TBM

Úsek tunelu od 9,700 km až k hornímu portálu u vtokového objektu v 0,000 km je ražen tunelovacím strojem TBM double shield hard rock. Kruhové ostění je montováno z železobetonových segmentů (5+1). Styčná spára jednotlivých prstenců



Obr. 7 Pohled na razicí hlavu  
Fig. 7 A view of the cutter head

### Technical solution to the tunnel and the TBM excavation procedure

The tunnel section from the chainage of 9.700 km up to the upper portal at the intake structure at chainage 0.000 km is being driven by a double shield hard rock TBM. The circular lining is assembled from reinforced concrete segments (5+1). The circumferential joints between individual lining rings are not designed to be conical. The machine is guided only by irregular squeezing of the rubber sealing between segments of the rings. Muck is hauled from the tunnel on a conveyor belt; lining segments are transported on rail-mounted flat cars each carrying segments for 2 rings. Pea gravel and cement for the primary and secondary grouting is also transported on rails. Dry grouting mixture is mixed with water later, on the TBM trailing gear.

The lining is 250mm thick; one ring is 1.5m long. The inner diameter of the tunnel lining rings is 5.26m. The shield diameter is 5.49m, the cutter head diameter ranges from 6.02m to 6.09m, depending on the chosen cutting tools. The intermediate space between segments and the excavation is being filled with grout (backgrouting). The tunnel is designed as a pressure resisting structure for the maximum 10bar pressure.

After initial complications, the TBM excavation commenced in June 2016. With its best performance, the contractor reached the excavation rate up to 900m per month, 500m per month as the average. As of the time of writing the paper, ca 6000m of excavation had been completed.

### Solution to the exit portal (water intake structure)

The exit portal for the TBM is currently in the phase of adjusting the design. The design counts on receiving the TBM in a small portal pit, where it will be dismantled in steps together with the trailing gear. After lifting them up from the pit, the individual parts of the machine will be transported to the storage area. The reason for this complicated and time intensive dismantling operation lies in the limited spatial conditions, which do not allow for pulling the entire machine out of the tunnel. The set will again be pulled along the reinforced concrete cradle. When the dismantling of the machine in front of the portal is finished, an intake structure will be constructed in front of the portal as a water inlet into the tunnel.

### TBM

As described in detail above, the TBM is of the double-shield hard rock type supplied by the company of Herrenknecht (see Figures 11 and 12). Owing to its technical solution the machine excavates the tunnel and concurrently installs the tunnel lining. In this way the time when the machine does not excavate



Obr. 8 Postupná montáž stroje a jeho zasouvání do tunelu  
Fig. 8 Stepwise assembly of the machine and shifting it into the tunnel





Obr. 9 Pohled na návěs TBM  
Fig. 9 A view of the TBM trailing gear

ostění není navržena kónická. Stroj je veden pouze nerovnoměrným svíráním gumového těsnění mezi segmenty prstence. Doprava rubaniny z tunelu je zajišťována dopravníkovým pásem, segmenty ostění se dopravují kolejovou drážkou, přičemž se na vlaku z plošinových vozů vezou vždy dílce pro 2 prstence. Po kolejích se dopravuje také kačírek a cement pro primární i sekundární injektáž. Injektážní směs se míchá s přidáváním vody až na návěsu tunelovacího stroje.

Thoušťka ostění je 250 mm, délka jednoho prstence je 1,5 m. Vnitřní průměr kroužků tunelového ostění je 5,26 m. Průměr štítu je 5,94, průměr řezné hlavy je v závislosti na zvolených řezných nástrojích od 6,02 do 6,09 m. Mezilehlý prostor mezi segmenty a výrubem je vyplňován výplňovou injektáží. Tunel je navržen jako tlakový pro maximální tlak 10 bar.

Ražba TBM byla zahájena po úvodních komplikacích v červnu 2016. Svým nejlepším výkonem dodavatel dosáhl až 900 m/měsíc, průměrně pak 500 m/měsíc. V době psaní článku bylo vyraženo cca 6000 m.

### Řešení výjezdového portálu (vtok do tunelu)

Výjezdový portál pro TBM je v současné době ve fázi ladění projektového řešení. Návrh počítá s vyjetím TBM do malé portálové jámy, kde proběhne postupná demontáž stroje včetně jeho technologických návěsů. Po vytažení z jámy budou jednotlivé části stroje přepraveny do skladovacího prostoru. Důvodem pro tuto komplikovanou a časově náročnou demontáž jsou omezené prostorové podmínky, které nedovolí vyjet celým strojem z tunelu. Vyjízďet se bude opět na železobetonovou kolébkou. Po rozebrání stroje bude před portálem zbudován nátokový objekt jako vpust' vody do tunelu.

### TBM

Jak je popsáno detailně výše, jedná se o typ stroje TBM double shield hard rock dodaný společností Herrenknecht (obr. 11, 12). Díky svému technickému řešení stroj současně razí i montuje ostění tunelu. Tak je minimalizován čas, kdy stroj nerazí (jinak je tomu u ražby strojem single shield). Tím je podstatně urychlen pracovní cyklus stroje.

Řezná hlava stroje je navržena pro pevné horninové prostředí (hard rock) tak, jak předpokládalo zadání projektu. V případě nepředvídaných geotechnických podmínek blízkých se charakteristikám zemin se již však opakovaně prokázalo, že může docházet k obtížným situacím vyžadujícím sanační opatření na čelbě výrubu.

Segmenty jsou osazovány do pozic v prstenci erektorem, který je na tomto stroji mechanický, nikoliv vakuový. Segmentové jeřáby fungují na principu mechanických zámek.



Obr. 10 Provádění výplňové injektáže – část cementace  
Fig. 10 Execution of back grouting – cementation

the tunnel is minimised (it is different in the case of tunnel excavation using a single-shielded machine). Thanks to this design the working cycle of the machine is substantially accelerated.

The cutter head of the machine is designed for hard rock environment, as the project tender documents assumed. On the other hand, it has been repeatedly proved that difficult situations requiring stabilisation measures at the excavation face may occur in the case of encountering unpredictable geotechnical conditions approximating the characteristics of soil.

Lining segments are placed into their positions within the lining ring using an erector, which is of the mechanical type on this machine, not vacuum-assisted. Segment-lifting cranes



Obr. 11 Popis TBM  
Fig. 11 TBM description



Obr. 12 Popis řezných nástrojů  
Fig. 12 Description of cutting tools



Obr. 13 Plnění segmentových forem  
Fig. 13 Filling the segment moulds

Segmentový podavač pak je klasicky hydraulický. Návěs za štítem sestává z dvanácti portálů a pásového dopravníku a je délky 175 m. Připočte-li se k tomu délka štítové části, měří stroj téměř 200 m.

### Segmenty

Tunelové segmenty jsou vyráběny zhotovitelem přímo v místě stavby. Výrobní segmentů je vybavena sedmi sety forem s technologií propařování. Tím je urychlován proces zrání čerstvého betonu. Zhotovitel je tak schopen každou dvanáctihodinovou směnu vyrobit jednu plnou várku 42 segmentů, což představuje sedm kompletních prstenců (obr. 13, 14).

### ZAVĚR

ŠKODA PRAHA a.s., jako tradiční česká inženýrsko-dodavatelská společnost investičních celků v energetice na klíč, v tomto projektu vystupuje jako inženýr investora. Technický konzultant SAMSON PRAHA, spol. s r.o. byl vybrán ŠKODOU PRAHA, díky své specializaci na podzemní stavby a geologii, pro spolupráci v místě výstavby elektrárny v Gruzii. V současné době tým SAMSON PRAHA, spol. s r.o. v místě sestává z pěti pracovníků, a to experta na ražbu tunelu, geologa, senior inženýra dozorujícího stavební část, specialistu dohlížejícího na hydromechanického dodavatele a specialistu kontrolujícího kvalitu dodávaných prací. ŠKODA PRAHA a.s. poskytuje veškerou podporu pro činnost SAMSON PRAHA, spol. s r.o. v místě. Takto sestavený tým je tak platným členem týmu investora, kterému se daří udržet přijatelnou kvalitu prováděných prací v souladu s projektovou dokumentací, včetně časového plánu definovaného ve smlouvách s jednotlivými dodavateli.

*Ing. PETR JAKEŠ, jakes@samsonpraha.cz,*

*Mgr. LEOŠ VALIGURSKÝ,*

*valigursky@samsonpraha.cz,*

*Ing. MARCEL RÜCKL, ruckl@samsonpraha.cz,*

*SAMSON PRAHA, spol. s r. o.,*

*Ing. SIMONA POHORILJAK, MBA,*

*ŠKODA PRAHA a. s.*

*Recenzovali Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler,*

*Ing. Pavel Polák*



Obr. 14 Propařovací zkouška  
Fig. 14 Steam curing test

work on the principle of mechanical locks. The segment erector is classical, hydraulic. The trailing gear consists of twelve portals and a belt conveyor; it is 175m long. If we add the length of the shielded part, the machine is nearly 200m long.

### Lining segments

Tunnel lining segments are produced by the contractor directly on site. The segment casting yard is equipped with seven moulds with the steam curing equipment. The process of curing green concrete is accelerated in this way. The contractor is therefore capable of producing one complete set of 42 segments, which represents seven complete rings (see Figures 13 and 14).

### CONCLUSION

ŠKODA PRAHA joint-stock company, a traditional Czech engineering company delivering turnkey investment units for power generating industry, acts in this project in the position of the engineer for the project owner. Owing to its specialisation for underground construction and geology, SAMSON PRAHA, Ltd. was chosen by ŠKODA PRAHA for the position of the technical consultant for the collaboration in the location of the power plant construction in Georgia. At present, the SAMSON PRAHA, Ltd. team consists of five workers, namely a tunnel excavation expert, a geologist, a senior engineer supervising the civil engineering part, a specialist overseeing the hydromechanical contractor and a specialist checking the quality of the work being supplied. ŠKODA PRAHA provides all support for the SAMSON PRAHA, Ltd. activity on site. The team assembled in this way is therefore a valid member of project owner's team succeeding in maintaining acceptable quality of the works in compliance with the design documentation, including the construction schedule defined in the contracts with individual contractors.

*Ing. PETR JAKEŠ, jakes@samsonpraha.cz,*

*Mgr. LEOŠ VALIGURSKÝ,*

*valigursky@samsonpraha.cz,*

*Ing. MARCEL RÜCKL, ruckl@samsonpraha.cz,*

*SAMSON PRAHA, Ltd.,*

*Ing. SIMONA POHORILJAK, MBA,*

*ŠKODA PRAHA a. s.*

### LITERATURA / REFERENCES

ISRM (1981) Rock Characterization Testing and Monitoring. Brown, E., Ed., Pergamon Press, Oxford, 211 p.

Dokumentace pro provedení stavby.

2014 Mapy Google map

Foto autoři