

AKTUÁLNÍ PROJEKTY METROSTAVU A.S. V SEVERSKÝCH ZEMÍCH

CURRENT METROSTAV A.S. PROJECTS IN THE NORDIC COUNTRIES

ALEŠ GOTHARD, IVAN PIRŠČ, PAVEL BÜRCEL

ABSTRAKT

Akciová společnost Metrostav působí na stavbě tunelů v severských zemích již od roku 2006. Tento článek navazuje na předchozí z časopisu Tunel 2/2015 věnovaný rovněž severským tunelům. V září 2015 byla slavnostní prorážkou zakončena stavba nejdelšího islandského silničního tunelu Norðfjörður. V Norsku probíhá výstavba dvou tunelů Veitastrond a Joberg. Pro ražby v těchto oblastech je typické využití metody Drill&Blast, lokálně i NRTM. Tento článek shrnuje základní technické informace těchto projektů, stávající a budoucí práce a navržená technická řešení a zajímavosti z výstavby.

ABSTRACT

Metrostav joint-stock company has been active in construction of tunnels in the Nordic countries already since 2006. This paper builds on the previous paper from the TUNEL issue 2/2015 dedicated to tunnels built in the Nordic countries. The construction of the Norðfjörður tunnel, the longest Icelandic road tunnel, was finished by a breakthrough celebration in September 2015. The construction of two tunnels, the Veitastrond and Joberg, is underway in Norway. The tunnelling method typical for these areas is the Drill&Blast, locally also the NATM. This paper summarises basic technical information on these projects, the current and future work, the proposed technical solutions and interesting facts from the construction process.

TUNEL NORÐFJÖRÐUR

Dne 17. 9. 2015 byly slavnostní prorážkou z portálu Eskifjörður dokončeny ražby tunelu Norðfjörður a tento tunel se tak stal nejdelším islandským silničním tunelem. Celková ražená délka tunelu 7566 m byla projektem rozdělena na 4540 m z portálu Eskifjörður a 3026 m z portálu Fannardalur. Běžný profil tunelu lze podle norských standardů klasifikovat jako T8. Tento typ profilu je se svou teoretickou velikostí výrubu 54,7 m² dostatečně velký pro dva silniční pruhy, každý se šířkou 3 m. V místě bezpečnostních zálivů, resp. odstavních ploch, se velikost profilu výrubu zvětší až na 77,3 m². Tyto zálivy je podle islandských předpisů nutno realizovat každých 530 běžných metrů tunelu. V celé trase tunelu jich tak bylo vyraženo celkem 14, přičemž některé z nich byly realizovány s další rozrážkou pro zajištění technologických komor potřebných pro budoucí provoz tunelu. Předpokládané průjezdy tunelem jsou očekávány v maximu 500–600 automobilů za den.

Bilance vyrubané horniny v poměru k množství horniny určené pro zásypy je téměř nulová. Vytěžená rubanina bude uplatněna při budování zhruba 5 km nových komunikací vedoucích k tunelu a k zásypům intravilánu města Eskifjörður v nadcházející fázi projektu.

Postupy ražeb

Ražby z portálu Eskifjörður byly zahájeny v listopadu 2013. Zahájení ražeb z portálu Fannardalur následovalo v březnu 2014. Průměrné týdenní postupy ražeb byly z portálu Fannardalur 53,3 m, resp. 49,2 m z portálu Eskifjörður, z toho vyplývají průměrné denní postupy 8,9 m, resp. 8,2 m. Většina délky tunelu byla ražena dovrchně – 3 %. Posledních 600 m z portálu Fannardalur bylo vyraženo úpadně – 1,5 %.

Geologické poměry

Ražby byly vedeny převážně vyvěřelými bazaltovými horninami s mezilehlými vrstvami vulkanosedimentárních hornin. Tyto většinou značně nesoudržné vrstvy tufů a pyroklastik dosahovaly mocností až 8 m a významně zpomalovaly postupy ražeb (obr. 1). V některých případech bylo přistoupeno k vyztužení výrubu pomocí ocelových příhradových rámu (BRETEX). Metoda ražby Drill&Blast byla tak ve výsledku nahrazena pro tyto podmínky vhodnější NRTM, aplikovanou do místních podmínek, a to v celkové délce 640 m ražeb. V tomto úseku tunelu tak ražby probíhaly ve zkrácených dél-

NORÐFJÖRÐUR TUNNEL

The excavation of the Norðfjörður tunnel was finished by a breakthrough celebration at the Eskifjörður portal on 17/09/2015. This tunnel became the longest Icelandic road tunnel. The total mined tunnel length of 7566m was divided by the design into the 4540m long section driven from the Eskifjörður portal and the 4540m long section driven from the Fannardalur portal. The common tunnel profile can be categorised according to Norwegian standards as T8. This profile type is sufficient for two traffic lanes 3m wide each in terms of the theoretical size of the excavated cross-sectional area of 54.7m². In the locations of safety lay-bys or breakdown bays, the excavated cross-sectional area is increased up to 77.3m². According to Icelandic regulations these bays must be realised at intervals of 530 lineal metres of the tunnel. The total of 14 bays was excavated throughout the whole tunnel route length. Some of them were realised with additional side stubs required for equipment chambers necessary for the future tunnel operation. The anticipated maximum traffic flow volume amounts to 500-600 cars per day.

The balance of the excavated rock in proportion to the volume of rock designed for backfill is nearly zero. The muck will be used for the construction of about 5km of new roads leading to the tunnel and for backfilling in the urban area of Eskifjörður during the forthcoming project phase.

Excavation advance rates

Tunnelling from the Eskifjörður portal commenced in November 2013. The commencement of tunnelling from the Fannardalur portal followed in March 2014. Average weekly advance rates from the Fannardalur and Eskifjörður portals were 53.3m and 49.2m, respectively; daily advance rates following from the weekly rate amount to 8.9m and 8.2m, respectively. The majority of the tunnel length was driven uphill at – 3%. The last 600m long section from the Fannardalur portal was driven downhill at – 1.5%.

Geological conditions

The excavation proceeded mainly through igneous basalt rock with tuffaceous and pyroclastic interbeds. The thickness of these layers of mostly significantly incoherent rock and sandstone reached up to 8m. They substantially reduced the excavation advance rates (see Fig. 1). In some cases we proceeded to support the excavation with steel lattice girders (BRETEX). The Drill&Blast tunnelling method was in the result replaced by the NATM, which is more suitable for these conditions. It was applied to local conditions at the total excavation



Obr. 1 Norðfjörður – nesoudržné vulkanosedimentární horniny
Fig. 1 Norðfjörður – incoherent volcano sedimentary rock types

kách nakročení se značně zesíleným ostěním. Velký důraz byl také kladen na podrobný geotechnický monitoring. Mezilehlé vrstvy zároveň zamezují pronikání vody do výrubu a fungují tak jako izolant. Několik měsíců po dokončení ražeb je celkový měřený přítok méně než 6 l/s, tj. cca 5,5 l/min/100 m. Maximální dočasný přítok vody z předvrtů v žádném případě nepřesáhl 300 l/min a během ražeb nebylo ani v jediném případě přistoupeno k utěsňujícím injektážím.

V nejvyšším místě nadloží dosahuje téměř 900 m. I přes délku tunelu nebyla vybudována úniková štola či vertikální šachta, která by byla vzhledem k výšce nadloží a horninovému prostředí pouze obtížně realizovatelná. Vzhledem k vysokému

length of 640m. In this tunnel section the excavation proceeded with reduced excavation round lengths and substantially increased thickness of the lining. Great stress was in addition placed on detailed geotechnical monitoring. The intermediate layers at the same time prevent the intrusion of water to the excavation and function in this way as an insulator. The total inflow measured for several months after the completion of the excavation is smaller than 6L/s, i.e. ca 5.5L/min/100m. The maximum temporary inflow of water from holes bored into the advance core in no case exceeded 300L/min and sealing grouting was never necessary during the excavation.

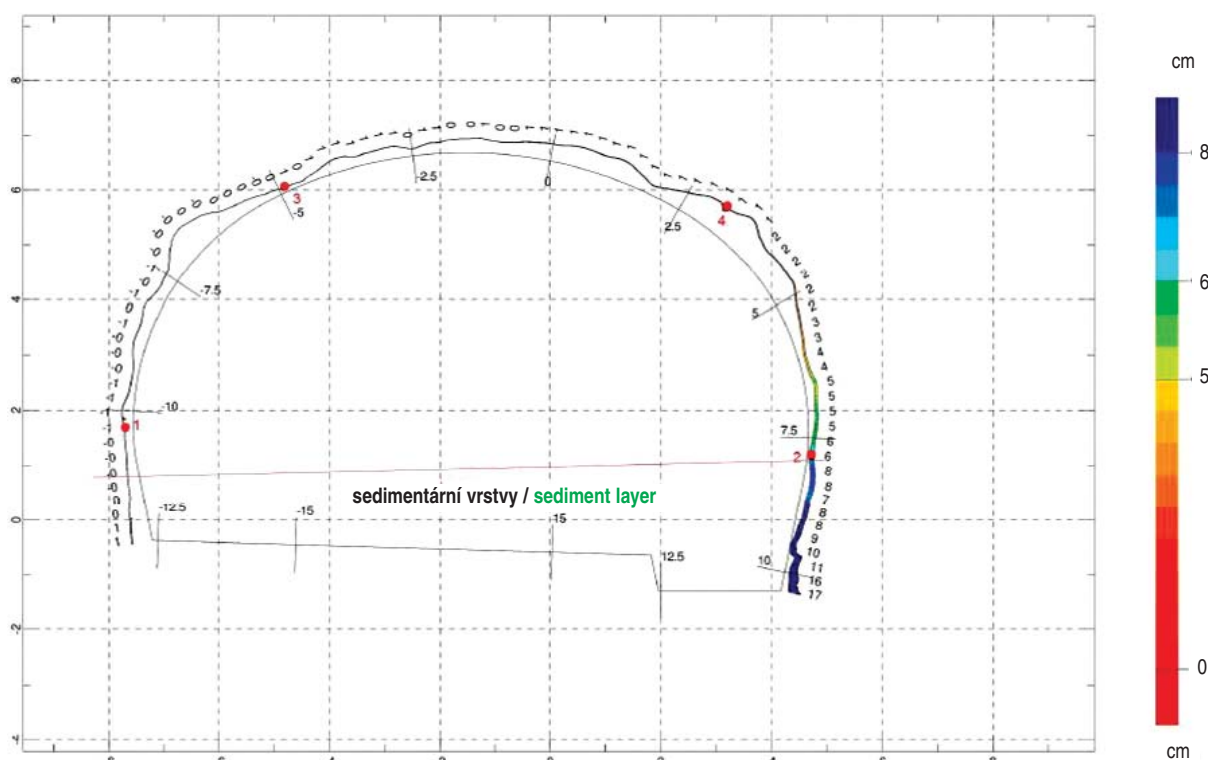
The maximum overburden height reaches nearly 900m. Despite the tunnel length, no escape gallery or vertical shaft was carried out. The shaft would be difficult to realise with respect to the high overburden. With respect to the high overburden slighter manifestations of rock pressure were observed during the excavation in areas with the overburden higher than 500m. Degradation of walls formed by scoriae (volcanic rock with small density, originating on contact of lava with the surface) was encountered. In addition, intense manifestations of rock pressure were registered in the area of the intrusion of magma into original rock layers. Gradual releasing of energy accompanied by strong crackling with rock bursting up to the distance of 40cm from the excavated surface was registered in the particular area. The measurements of deformations in the areas of the occurrence of sedimentary layers of various types and in fault zones were carried out using a laser scanner and a tape extensometer. It was easy to determine the extent of the excavation deformation on the basis of the laser scanner outputs. The extent of the deformation of the primary lining of the tunnel driven through sedimentary rock can be seen in Fig. 2. Convergences up to 16cm were measured at the bottom of the right-hand excavation wall.

pohled ve směru ražby / view in direction of advance

metr tunelu / tunnelmetre 1 986.7

staničení 4046.7 (vodorovný) / stationing 4046.7 (horizontal)

staničení 4047.594 (prostorový) / stationing 4047.594 (spatial)



Obr. 2 Norðfjörður – výstup z laserskeneru o průběhu deformací ostění

Fig. 2 Norðfjörður – laser scanner output on the development of the lining deformations

nadloží byly během ražeb pozorovány slabší projevy horského tlaku v oblastech s nadloží vyšším než 500 m. Docházelo zde k degradaci stěn tvořených scórií (vulkanická hornina s malou hustotou, vznikající na kontaktu lávy s poruchem). Dále byly zaznamenány silné projevy horského tlaku v oblasti intruze magmatu do původních horninových vrstev. V dané oblasti bylo během ražby zaznamenáno postupné uvolňování energie doprovázené silným praskáním s odpryskem hornin do vzdálenosti až 40 cm od výrubu. Měření deformací v oblastech výskytu sedimentárních vrstev různých typů a v poruchových zónách se realizovalo za pomoci laserového skeneru a pásmového extenzometru. Na základě výstupů z laserového skeneru bylo snadné stanovit rozsah deformace výrubu. Na obr. 2 je možné vidět rozsah deformace primární výztuže tunelu raženého v sedimentárních horninách, kde v patě pravé stěny výrubu byly naměřeny konvergence až 16 cm.

Zajištění výrubu

Primární zajištění výrubu se provádělo pomocí svorníkové výztuže a stříkaných betonů s rozptýlenou výztuží v tloušťce 40–60 mm. Veškeré prováděné stříkané betony musely splňovat mimo jiné požadavky na energetickou pohltivost E700 a pevnost v prostém tlaku 26 MPa. Definitivní vyztužení tunelu, které tvoří další vrstva stříkaných betonů v tl. 40–180 mm a případné zahuštění rastru svorníkové výztuže, bylo provedeno až po ukončení ražeb. Svorníková výztuž sloužící k primárnímu zajištění výrubu byla uvažována také jako součást definitivního vystrojení díla, a proto byly všechny svorníky opatřeny ochrannou vrstvou zinku a epoxidového nátěru. V průběhu ražeb se používaly převážně mechanicky upínané svorníky typu CT-bolt a svorníky typu SN aktivované po 24 hodinách v poměru zhruba 70/30. Ve zhoršených geologických podmínkách se k zajištění stability výrubu používaly také samozávrtné kotvy typu IBO a kari sítě. Návrh vyztužení díla se prováděl pro každý záběr na základě klasifikace Q-systému. Procentuální zastoupení indexu Q hodnot zastížených v trase tunelu je uvedeno v tab. 1.

Dokončovací práce

V době psaní tohoto článku probíhaly betonáže hloubených úseků. Tyto vnější železobetonové konstrukce budou po svém dokončení dosahovat délky přes 300 m. Hlavním důvodem pro tak dlouhé hloubené úseky je nutnost zajištění protilavinového opatření, a to převážně u portálu Fannardalur.

Dalšími, na ražbu navazujícími pracemi, kromě zmiňovaných cca pět kilometrů vnějších komunikací, je instalace tunelových izolací proti průsakům podzemních vod a promrzání. Po dokončení definitivní výztuže byla v trase tunelu dozorem

Tab. 1 Hodnoty indexu Q zastížené v trase tunelu
Table 1 Q values encountered along the tunnel route

zastížená geologie dle indexu Q geology encountered according to the Q	hodnoty indexu Q Q values	% zastoupení % percentage
extrémně špatná extremely bad	0,01 – 0,1 0.01 – 0.1	1,5 1.5
velmi špatná very bad	0,1 – 1 0.1 – 1	8,9 8.9
špatná bad	1 – 4 1 – 4	57,8 57.8
dostatečná sufficient	4 – 10 4 – 10	30,7 30.7
dobrá good	10 – 40 10 – 40	1,1 1.1

Excavation support

The primary excavation support consisted of rock bolts and a 40-60mm thick layer of fibre reinforced shotcrete. All sprayed concrete had to meet, among others, requirements for energy absorption capacity E700 and unconfined compressive strength of 26MPa. The final tunnel excavation support consisting of another layer of shotcrete 40-180mm thick and the contingent densification of the grid of rockbolt support was carried out after the completion of the excavation. The rockbolt support used as the primary excavation support was in addition taken into account as a part of the final lining. For that reason all rock bolts were provided with a protective layer of zinc and epoxy coating. Mechanically expanded CT-type rock bolts and SN-type rock bolts activated after 24 hours were used during the excavation operations at the proportion approximately 70/30. In worsened geological conditions even self-drilling IBO anchors and KARI welded mesh were used for stabilising the excavation. The proposal for the excavation support was prepared for each excavation round on the basis of the Q-system classification. The representation percentage of individual values encountered along the tunnel route is presented in Table 1.

Finishing work

At the moment concrete casting operations are underway in the cut-and-cover sections. The length of these external reinforced concrete structures will exceed 300m after their completion. The main reason for such the long cut-and-cover sections is the necessity for the implementation of an avalanche protection measure, mostly at the Fannardalur portal.

Other subsequent work operation, apart from the above-mentioned ca 5km of external roads, is the installation of tunnel insulation against groundwater seepage and frost penetration. Locations for these insulations were specified by client's supervising engineer after the completion of the final excavation support. They will be carried out by means of suspended polyethylene membranes and pads with the application of a layer of shotcrete on them. With respect to the above-mentioned relatively small amount of penetrating water and the length of the cut-and-cover sections, the total area of these locations amounts to less than 30,000m². This area represents approximately 22% of the total area of the excavation surface.

Summary – Nordfjörður

According to the so far achieved work progress, it is very likely that all work will be finished by September 2017. This term also corresponds to client's requirements for opening the tunnel to traffic.

VEITASTRAND TUNNEL

In 2014, Division 5 of Metrostav a.s. was awarded the first tunnelling contract in Norway. After projects in Iceland and Finland it was an entry to another Scandinavian market.

The complex of avalanche protection measures along the road No. 337 between the municipalities of Hafslø and Veitastrand is part of the effort to improve the transport accessibility of the village of Veitastrand with the population of about 130. Sliding of snow avalanches regularly closes this only access road. In addition, this ca 27km long road is threatened during the remaining part of the year in several locations by falling boulders and collapsing adjacent rock walls (see Fig. 3). A great part of the road leads on a rock slope rising from a lake and reaching the altitude of up to 1300m above the water surface level. The road is used by Veitastrand residents all year round and is frequently used by cottagers and tourists in summer months. It ends at the end of the valley in a national park near the Jostedalbreen glacier.

Basic information on the project

The project modifies two sections of the 2.5km long road. In the Bjørnebakkane section, a diversion of the road from the lake to a 1.56km long tunnel is proposed for the length of 1.8km. In the Lindeskreda section, in the location of frequent avalanches, an

stavby určena místa pro tyto izolace. Ty budou realizovány pomocí zavěšených polyethylenových membrán a matrací s vrstvou stříkaného betonu. Vzhledem k výše zmiňovanému relativně malému množství pronikající vody a dlouhým hloubeným úsekům dosahuje celková výměra těchto míst necelých 30 000 m². Tato výměra představuje zhruba 22 % celkové plochy výrubu.

Shrnutí – Norðfjörður

Podle dosavadního postupu prací je velmi pravděpodobné, že veškeré práce budou dokončeny do září 2017. Tento termín také odpovídá požadavkům zadavatele na uvedení tunelu do provozu.

TUNEL VEITASTROND

V roce 2014 získala Divize 5 Metrostavu a.s. první tunelářskou zakázku v Norsku. Po stavbách na Islandě a ve Finsku to byl vstup na další skandinávský trh.

Soubor protilavinových opatření na silnici č. 337 mezi obcemi Hafsla a Veitastrond je součástí snahy o zlepšení dopravní dostupnosti obce Veitastrond s počtem asi 130 obyvatel. Sesuvy sněhových lavin pravidelně uzavírají tuto jedinou příjezdovou komunikaci. Navíc po zbytek roku je tato cca 27kilometrová cesta ohrožována na několika místech i pády balvanů a řícením přilehlých skalních stěn (obr. 3). Z velké části vede silnice po úbočí skalního svahu vystupujícího z jezera a dosahujícího výšky až 1300 metrů nad hladinou. Silnici využívají celoročně obyvatelé Veitastronu a v letních měsících je frekventovaně používána chataři a turisty. Na konci údolí silnice končí v národním parku u ledovce Jostedalbreen.

Základní informace o projektu

Výstavba upravuje 2,5 km komunikace ve dvou úsecích. V úseku Bjørnebakkanen je v délce 1,8 km navrženo odklonění silnice od jezera do 1,56 km dlouhého tunelu. V úseku Lindeskreda, v místě častého pádu sněhových lavin, je navržen protilavinový val délky cca 300 m a přeložka silnice délky 580 m na nově rozšířený násep do ledovcového jezera Veitastrondvatnet. Součástí stavby jsou dále technologická centra v tunelu, napojení příportálových částí na stávající komunikaci, přístupová cesta k protilavinovému valu a mimo zasmulvněný objem prací Metrostavu a.s. i technologické vybavení. Stavbu realizuje sdružení „JV Metrostav Havnen“, které je tvořeno společnostmi Metrostav NUF a Havnen Anlegg AS. Investorem je norská společnost pro správu cest Statens Vegvesen, obdoba českého ŘSD. Součástí dodávky investora je i projektová dokumentace. Smluvní vztahy se řídí standardizovanou norskou normou NS 8406:2009 a zvláštními smluvními podmínkami.

Tunel je navržený ve dvou základních profilech, ze severní strany začíná jako dvoupruhový, profilu T8,5 s teoretickou plochou výrubu 68,7 m². Po 500 metrech se tunel zužuje do jednopruhového profilu T5,5 s teoretickou plochou výrubu 45,1 m², s klesáním až k jižnímu portálu. V tunelu jsou celkem čtyři nouzové zálivy o čisté délce 30 m s náběhy v obou směrech. Největší plochou profilu celého díla je tedy nouzový záliv T13,5 – 94,6 m². Ve dvou zálivech nejbližších portálům jsou kolmo na osu tunelu vyraženy technické komory o délce 18 m a profilu T8,5. V jednom ze středních zálivů je umístěna komora pro nouzové otáčení vozidel.

V oblasti výstavby protilavinového valu byla v prvním kroku přeložena existující komunikace. Pro tyto účely bylo nejprve nutné rozšířit břeh zasypaním části jezera a vytvořením tak tělesa komunikace (obr. 4). Zásyp jezera probíhal ze břehu ukládáním materiálu vyvezeného z tunelu. Nejprve byly provedeny trhačské práce pod hladinou vody pomocí tzv. Aurlandské metody. Prakticky šlo o malý clonový odpal, který uvolnil předem nasypaný polštář z hrubého šterku. Ten



Obr. 3 Veitastrond – proudový horninový sesuv
Fig. 3 Veitastrond – flow-type ground slide

about 300m long avalanche protection embankment and the 580m long relocation of the road to the embankment newly widened to Veitastrondvatnet glacier lake are designed. Parts of the project are, in addition, technology centres in the tunnel, connections of pre-portal parts to the existing road, an access road to the avalanche protection embankment and, outside the amount of work contracted by Metrostav a.s., even the tunnel equipment. The project is being realised by the “JV Metrostav Havnen” consortium formed by Metrostav NUF and Havnen Anlegg AS. The client is Statens Vegvesen, a Norwegian road administration company, an analogy to the Czech Road and Motorway Directorate. The design documentation is part of client’s supply. Contractual relationships are governed by a standardised Norwegian standard NS 8406:2009 and special technical specifications.

The tunnel is designed in two basic profiles; from the northern side it starts with the T8.5 double-lane profile with the theoretical excavated cross-sectional area of 68.7m². After 500m the tunnel width is reduced to the T5.5 single-lane profile with the theoretical excavated cross-sectional area of 45.1m², declining down up to the southern portal. There are four emergency parking lay-bys with the aggregate length of 30m and with tapers in both directions in the tunnel. The cross-sectional area of the T13.5 emergency parking bay of 94.6m² is therefore the largest cross-sectional area in the whole tunnel. The excavation of the 18m long T8.5-profile technical chambers has been finished in the two lay-bys located closest to the portals. An emergency u-turn bay is in one of the middle lay-bys.

The existing road was diverted in the first step of the construction of the avalanche protection embankment. For this purposes it was first necessary to enlarge the width of the lake bank by filling a part of the lake with muck, thus creating the road bed (see Fig. 4). The filling proceeded from the bank by depositing the muck transported from the tunnel. Blasting under the water surface using the so-called Aurland method was carried out in the first step. It was practically a small bench blasting which relieved a coarse gravel cushion carried out in advance. The cushion slipped deeper to the lake and ripped organic deposits and sludge off. The volumes of the main work operations are summarised in Table 2.

Geological conditions

The construction site is located in an area of a strong granite massif with the sporadic occurrence of granodiorite with the strength of 275MPa. The entire tunnel route runs under the hillside with the maximum overburden height reaching 220m. Three main fault zones were expected along the tunnel route. However, their locations were not confirmed and the passage through a worsened quality massif proceeded without preprevious indication. Nor the predicted occurrence of fissure rivers in these fault

Tab. 2 Objemy hlavních prací

Table 2 Volumes of the main work operations

trhací práce v tunelu / blasting inside the tunnel	104 000 m ³
trhací práce na povrchu / blasting on the surface	23 000 m ³
zásep jezera / filling of the lake	53 000 m ³
protilavinový val / avalanche protection embankment	115 000 m ³
obklad protilavinového valu avalanche protection embankment cladding	3 850 m ²
izolace proti vodě v tunelu / tunnel waterproofing	32 500 m ²
přeložení vedení VN / relocation of a high-voltage line	650 m

se sesul hlouběji do jezera, a tak došlo ke stržení organických usazenin a kalů. Objemy hlavních prací jsou sumarizovány v tab. 2.

Geologické poměry

Staveniště se nachází v oblasti pevného žulového masivu s ojedinělým výskytem granodioritů s pevností až 275 MPa. Celá trasa tunelu prochází podél úbočí svahu s max. nadloží dosahujícím 220 m. V trase tunelu byly očekávány tři hlavní poruchové zóny. Jejich polohy se však nepotvrdily a k průchodu masivem zhoršené kvality docházelo bez předešlé indikace. Také predikovaný výskyt zvýšených přítoků podzemní vody se v těchto poruchových zónách nepotvrdil a ražby se obešly bez použití injektáže. Několik systémů diskontinuit s častými výplněmi jílu způsobovalo problémy s vrtacími pracemi a s nabíjením pro odpal. Komunikace mezi jednotlivými vrty, ale i úplné ztrácení vodního výplachu byly velmi častým jevem.

Ražba tunelu metodou Drill & Blast

Ražba tunelu probíhala metodou Drill & Blast od srpna 2014 do listopadu 2015 s šestměsíční plánovanou zimní přestávkou. Základem bylo použití trhacích prací s milisekundovým neelektrickým roznětem s běžnou délkou záběru 5 m. Použití čerpaných emulzních trhavin bylo samozřejmostí. V místech s výrazně zhoršenou geologií byl volen zkrácený záběr cca 2,5 m.

Vytěžení a odvoz rubaniny probíhaly klasickým způsobem pomocí 4- a 6kolových dumperů za použití čelního kolového nakladače se lžící s bočním výklopem. I přes stísněné podmínky profilu T5,5 bylo nakládání rubaniny prováděno přímo na čelbě bez využití nakládacích výklenků. Strojní a následné ruční začištění výrubu se v zastižené geologii projevilo jako sťažejní operace nutná pro bezpečné provádění dalšího kroku. Ke svorníkování se v převážné většině používaly mechanicky upínané svorníky, následně injektované cementovou maltou.

V závislosti na geologických podmínkách byl na zajištění výrubu používán stříkaný beton s rozptýlenou výztuží z ocelových vláken ve dvou třídách energetické pohltivosti E700 a E1000. Tloušťka stříkaného betonu se podle zastižené geologie pohybovala mezi 8 a 25 cm.

Ve zhoršených geologických podmínkách se používají i další zajišťovací prvky jako předem hnané jehly a pro Norsko specifické skalní pásy (obr. 5). V kombinaci se svorníky slouží skalní pásy k zajištění volného konce jehel.

Veškeré práce na ražbě tunelu prováděl Metrostav a.s., Divize 5, vlastními kapacitami.

Stav prací

V současné době (leden 2016) probíhají v tunelu práce na čištění dna tunelu, montáži trvalé drenáže a izolaci proti vodě a mrazu (obr. 6). Ta byla v důsledku zvodnění výrubu investo-



Obr. 4 Veitastrom – optimalizace komunikace a protilavinový val
Fig. 4 Veitastrom – optimisation of the road and the avalanche protection embankment

zones was confirmed and the excavation did not require injecting grout into the ground. Several discontinuity systems with frequent filling with clay caused problems with drilling and charging holes for firing. Communication between individual boreholes, even complete loss of water flush was a very frequent phenomenon.

Tunnel excavation using the Drill & Blast method

The tunnel excavation using the Drill & Blast method proceeded from August 2014 to November 2015, with a planned six-month winter break. It was based on the application of blasting with millisecond non-electric firing, with the common excavation round length of 5m. The use of pumped emulsion explosives was a commonplace. A reduced-length excavation advance round of ca 2.5m was chosen in locations with worsened geology.

Muck was loaded and transported out classically using 4- and 6-wheeled dumpers and a wheeled front-end loader with a side tipping dump bucket. Despite the restricted conditions of the T5.5 profile, muck was loaded directly at the heading, without the necessity for loading recesses. Mechanical and subsequent manual scaling of the excavation showed itself to be the critical operation necessary for safe execution of the next step. Rock bolts with mechanically expanded ends, subsequently injected with cement grout, were mostly used.

Two energy absorption classes E700 and E1000 were applied to the steel fibre reinforced shotcrete used for the excavation support, depending on geological conditions. The thickness of shotcrete varied between 8 and 25cm, depending on the geology encountered.

Even other support elements, such as forepoling and rock strips specific for Norway (see Fig. 5) are used in worsened geological conditions. The rock strips in combination with rock bolts serve to stabilise the loose ends of spiles.

All the work on the tunnel excavation was carried out by Division 5 of Metrostav a.s. own capacities.

Works state

At the moment (January 2016) the tunnel bottom is being cleaned, permanent drainage is being installed and waterproofing and frost penetration insulation is being applied (see Fig. 6). The extent of the waterproofing and the frost penetration insulation was increased by the client from original ca 60% to 100% of the tunnel excavation surface. In the Lindeskreda area, the road diversion and the construction of the avalanche protection embankment is before completion. Unfortunately, due to a mistake made by the project owner in the calculation for the volume of muck and due to higher consumption of material for filling the lake, the avalanche protection embankment will probably remain unfinished. The current milestone for handing the tunnel over for the installation of the equipment and electrical services is the beginning of April 2016. External reinforced concrete portals will be carried out and the



Obr. 5 Veitastrom – skalní pásy před zastříkáním betonem
Fig. 5 Veitastrom – rock strips before covering them with shotcrete

rem navýšena z původních cca 60 % na 100 % povrchu tunelu. V oblasti Lindeskreda je dokončena přeložka komunikace a stavba protilavinového valu je před dokončením. Bohužel chybou zadavatele v kalkulaci objemu rubaniny a vlivem větší spotřeby materiálu na zásyp jezera nebude nejspíš protilavinový val dokončen. Aktuální milník pro předání tunelu pro montáž technologie a elektro je začátek dubna 2016. Následně budou vybudovány vnější železobetonové portály a položen povrch komunikace. Termín uvedení celého díla do provozu je září 2016.

Shmutí – Veitastrom

V roce 2014 začal Metrostav a.s. ve sdružení s místní firmou Havnen Anlegg AS budovat soubor protilavinových opatření na silnici č. 337 v Norsku. V době psaní článku jsou úspěšně dokončeny ražby a probíhají dokončovací práce.

TUNEL JOBERG

V roce 2015 zahájil Metrostav a.s., jako svůj druhý tunelový projekt v Norsku výstavbu tunelu Joberg s celkovou délkou ražeb 2040 m. Tento projekt je realizován za účelem optimalizace silnice Rv. 13 v části pod vrchem Joberget. Metrostav a.s. buduje tento projekt ve sdružení s místním partnerem, společností Bertelsen & Garpestad.

Stávající komunikace Rv. 13 je vedena na břehu jezera Granvinsvatnet pod skalní stěnou, která je značně navětralá a dochází zde k častým skalním řícením. Projekt je součástí celkové optimalizace dopravní tepny z Bergenu do Osla pod názvem Projekt Vossapakko.

Tunel se skládá z 1950 m dlouhé části ražené metodou Drill&Blast, 90 m ražby využitím principů NRTM a cca 1100 m vnějších cest na povrchu. Teoretický profil výrubu tunelu T9,5 je 70,43 m². V tunelu se nacházejí 4 nouzové zálivy v profilu výrubu T13,5 s 93,97 m². Dva z těchto zálivů obsahují technické komory, které jsou kolmé na osu tunelu v délkách 23,5 m.

Směrové a sklonové poměry ražeb

Ražby budou, vzhledem k velmi krátké době realizace vyplývající z požadavků investora, vedeny z obou portálů. Ražby ze západu byly zahájeny ke konci října 2015 a doposud probíhaly dovrchně se sklonem 1,1 % do třetiny délky tunelu, kde se nachází výškový lom trasy v úrovni 42,57 m n. m. Trasa tunelu následně klesá k východu pod stejným sklonem. Příčný náklon tunelu je 3–8 %. Zahájení ražeb z východního portálu bylo plánované na únor 2016 a kromě výše zmíněných 90 m ražeb pomocí principů NRTM se očekává dalších zhruba 300 m metodou Drill&Blast.

road surface will be laid subsequently. The deadline for bringing the whole working into service is September 2016.

Summary – Veitastrom

In 2014, Metrostav a.s., in consortium with a local company Havnen Anlegg AS, started to implement a complex of avalanche protection measures on the road No. 337 in Norway. The tunnel excavation is currently successfully complete and the finishing work is underway.

JOBERG TUNNEL

In 2015, Metrostav a.s. commenced the construction of the Joberg tunnel with the total length of 2040m as the second tunnel construction project in Norway. This project is realised for the purpose of optimising the Rv. 13 road in the part under Joberg Hill. Metrostav a.s. realises this project in a consortium with a local partner, the company of Bertelsen & Garpestad.

The existing Rv. 13 road lies on the bank of Granvinsvatnet lake, under a significantly weathered rock wall where rock falls are quite a frequent phenomenon. The project is part of the overall optimisation of the thoroughfare from Bergen to Oslo named Projekt Vossapakko.

The tunnel consists of a 1950m long part driven using the Drill&Blast method, 90m long part driven using the NATM principle and ca 1100m of external at-grade roads. The theoretical excavated cross-sectional area of the T9.5 tunnel is 70.43m². There are 4 emergency parking bays in the T13.5 tunnel profile (excavated cross-sectional area of 93.97m²). Two of these bays contain 23.5m long technology chambers perpendicular to the tunnel axis

Horizontal and vertical alignment of the excavation

With respect to the very short realisation period following from client's requirements, the tunnel will be driven from both portals. Tunnelling from the west commenced at the end of October 2015. Till now it has proceeded uphill at the gradient of 1.1% up to one third of the tunnel length, where a break in the elevation is located at the altitude of 42.57m a.s.l. The tunnel alignment subsequently descends east on a uniform gradient. The transverse tilt of the tunnel is 3–8%. The commencement of the excavation from the eastern portal was planned for February 2016 and, apart from the above-mentioned 90m of excavation using the NATM principles, additional 300m is expected to be driven using the Drill&Blast method.

The horizontal alignment of the tunnel leads from the west to the east, first straight and subsequently on directional curves with the radii R=2000m and R=8000m.

Geological conditions in the area of operations and the excavation from the western portal

The western portal is designed to be in a rock wall. During the current course of the excavation from the west, 375m of the tunnel excavation were completed as of the end of January. The excavation advance rate was to a certain degree affected by very small advance rates in the initial thirty metres. In this part of the tunnel the client required excavation with the support with in-situ realised Norwegian frames with length of excavation rounds reduced to 2–3.5m (i.e. reinforcement bars bent in advance, anchored to the excavation surface with rock bolts and covered with a shotcrete layer). The main reason for this measure lied in low overburden and significant fracturing of the rock mass. Relatively compact quartziferous rock mass, fine-graded, grey to dark-grey, moderately aligned and thinly bedded, categorised as gneiss with the unconfined compressive strength of 150–300MPa.

Three main systems of discontinuity surfaces marked D1, D2 and D3 have been documented on the tunnel route till now. The most marked discontinuities are discontinuities D1 dipping steeply approximately to the west (260°–290°/70°–90°). Because the current excavation proceeds approximately east, the discontinuity surfaces D1 are oriented unfavourably for the excavation. The



Obr. 6 Veitastrond – instalace izolací proti vodě a promrzání
Fig. 6 Veitastrond – installation of insulation against water seepage and frost penetration

Směrově je tunel veden od západu k východu nejprve v přímé linii a následně ve směrových obloucích o poloměrech $R=2000$ m a $R=8000$ m.

Geologické poměry zájmového území a ražba ze západního portálu

Západní portál je situován do skalní stěny. V dosavadním průběhu ražeb ze západu bylo ke konci ledna vyraženo 375 m. Ražby byly do jisté míry ovlivněny velmi pomalými postupy v prvních třiceti metrech. V této části tunelu investor vyžadoval ražbu s podporou norských in-situ realizovaných rámu se zkrácenou délkou nakročení v délkách 2–3,5 m (tj. předohýbaná prutová výztuž zakotvená svorníky do výrubu s následným překrytím vrstvou stříkaného betonu). Hlavním důvodem k tomu bylo nízké nadloží a značná rozpukanost horninového masivu. V další doposud vyražené části tunelu byly zastíženy relativně kompaktní prokřemenělé skalní horniny – pevné, jemnozrnné, šedé až tmavě šedé barvy, mírně usměrněné a tence vrstevnaté, zatříděné jako rula s pevností v prostém tlaku 150–300 MPa.

V trase tunelu byly do této chvíle dokumentovány tři hlavní systémy ploch nespojitosti označené D1, D2 a D3. Nejvýraznější jsou diskontinuity D1 sklonu strmě cca k západu (260° – $290^{\circ}/70^{\circ}$ – 90°). Jelikož prozatím ražba probíhá přibližně směrem k východu, jsou plochy nespojitosti D1 vůči ražbě nepříznivě orientovány. Dochází po nich k oddělení horniny ve vertikálním směru, na čelbě jsou patrné četné ohlasy systému D1. Další systém puklin D2 má orientaci sklonu strmě cca k jihu (180° – $210^{\circ}/70^{\circ}$ – 80°). Poslední výrazný systém diskontinuit je subhorizontální se sklonem cca 5° – 15° směrem k východu (80° – $100^{\circ}/5^{\circ}$ – 15°). Pukliny jsou místy s výplní oxidů Fe, Mn.

Výrub byl doposud v průběhu ražby převážně suchý. Pouze v příportálové části byly dokumentovány soustředěné přítoky povrchové vody do raženého díla z přístropí. Vydatnost těchto přítoků je do 0,01 l/s.

Neposledním problémem, který může nastat, je možnost výskytu horninových tlaků vlivem vysokého nadloží. Vrcholky horského masivu, v jehož úbočí je tunel situován, dosahují severovýchodně od tunelu až 900 metrů nad mořem. Nadmořská výška trasy tunelu se přitom pohybuje jen kolem 40 m n. m. Zpráva z geologického průzkumu konstatuje, že výskyt horninových tlaků je možný až ve dvou třetinách trasy tunelu.

Problémy s tunelováním v morénových sedimentech

Výrazně nepříznivější je geologická situace na východním portálu, který je situován do oblasti morény. V době psaní příspěvku stále probíhají práce na prohlubování a vystrojování zářezu (obr. 7). Při hloubení jámy byly dokumentovány rozdílné typy zemin. Zastoupeny byly především jemnozrnné zeminy (hlíny + jíly) s četným výskytem kamenů (průměr do 30 cm).

rock mass is split along them vertically and numerous slickensides are visible on the discontinuity surfaces of the D1 system at the excavation face. The next system of fissures D2 dips steeply approximately to the south (180° – $210^{\circ}/70^{\circ}$ – 80°). The last marked system of discontinuities is sub-horizontal, dipping at approximately 5° – 15° to the east (80° – $100^{\circ}/5^{\circ}$ – 15°). Fissures are locally filled with Fe and Mn oxides.

The excavated opening has so far been mostly dry. It was only in the portal part that concentrated inflows of surface water from the top heading to the excavated opening were documented. The inflow yield is up to 0.01L/s.

Another problem which can be faced is the possibility of encountering rock pressures due to high overburden. The peaks of the massif under the mountainside under which the tunnel is located reach in the north-east the altitude up to 900m above sea level. The tunnel route altitude is around 40m a.s.l. The report from the geological survey states that the occurrence of rock pressures is possible along up to two thirds of the tunnel route.

Tunnelling problems in moraine sediments

Markedly more unfavourable geological situation exists at the eastern portal, which is located in a moraine area. As of today, the work on deepening and supporting the cutting is still underway (see Fig. 7). Different types of soils were documented during the course of the construction pit excavation. Fine-grained soils (loams + clays) with frequent occurrence of boulders (up to 30cm in diameter) were present most of all. Rock blocks up to 2.5m in diameter were also found. According to the completed geological survey and according to current experience from the execution of the construction pit it is possible to expect that the construction of the initial ca 90m of the tunnel will be significantly complicated. The tunnelling operations will encounter a very heterogeneous environment. Fine-grained to sandy soils with the possibility of gravel lenses will be present. It can be expected that all of that will be abundantly interspersed with stones and even boulders (see Fig. 8).

According to the EG survey, the above-mentioned mixed sediments will be encountered at the beginning of the construction, covering the entire excavation face. With the excavation proceeding, the moraine sediments will gradually recede to the overburden. With respect to this fact it is possible to expect that the disintegration of the heterogeneous face will be problematic. The bedrock formed by metamorphic rock types (gneiss and phyllite are described) will begin to appear first in the bench and later also in the top heading. According to the longitudinal section, hard rock will cover the whole tunnel cross-section about 80m from the portal. The transition from the NATM to the Drill&Blast method is expected at the distance of ca 90m from the portal.



Obr. 7 Joberg – vrtný vůz v zářezu před vrtáním mikropilotového deštníku
Fig. 7 Joberg – drilling rig in the cutting before drilling for the canopy tube pre-support

Přítomny byly rovněž balvany (průměr až 2,5 m). Podle provedeného geologického průzkumu a podle dosavadních zkušeností z výstavby jámy lze předpokládat, že výstavba prvních cca 90 m tunelu bude značně komplikovaná. Ražbami bude v tomto úseku zastoupeno velmi heterogenní prostředí. Zastoupeny budou zeminy jemnozrnné až písčité s možností šterkových čoček. Vše bude hojně prostoupeno kameny a lze očekávat i balvany (obr. 8).

Výše popsané směsné sedimenty se podle inženýrskogeologického průzkumu budou vyskytovat na počátku výstavby v celém profilu čelby. S postupem ražby začnou sedimenty morény ustupovat do nadloží. Vzhledem k tomu lze očekávat problematické rozpojování heterogenní čelby. Skalní podloží budované metamorfovanými horninami (popisovány jsou ruly a fylity) se začnou objevovat nejprve v opěří a později i v kalotě. Cca 80 m od portálu bude podle podélného řezu v celém profilu tunelu již skalní hornina. Ve vzdálenosti cca 90 m od portálu se očekává přechod z principů NRTM na metodu Drill&Blast.

Podzemní voda je v geologickém průzkumu zmíněna jen okrajově, nicméně při odtěžování portálu byly zastíženy soustředěné přítoky podzemní vody s intenzitou jednotlivých pramenů v závislosti na srážkách. Po délce raženého tunelu je v oblasti morény vybudována síť pěti studní pro snižování hladiny podzemní vody. Pro odvodnění předpolí čelby budou realizovány systematicky odvodňovací vrty. Zářez je monitorován vertikálními inklinometry, tlakovými poduškami a sítí konvergenčních bodů.

Shrnutí – Joberg

K 3. 2. 2016 bylo vyraženo necelých 20 % celkové délky tunelu. Zbývající větší část trasy díla s výše popisovanými výzvami, jako je vysoké nadloží, nebo ražby ledovcovou morénou, tak budou realizovány teprve v následujících měsících a autor se jim bude podrobněji věnovat v samostatném příspěvku.

ZÁVĚR

Podmínky pro stavební činnost v severských státech se zásadně odlišují od podmínek v domácím prostředí. Zatímco v českých podmínkách, zejména v okolí Prahy se nalézají ve větší míře horniny měkké a relativně nízké nadloží, pro islandské i norské tunely jsou typické horniny tvrdé a výška nadloží se měří ve stovkách metrů. Během ražby se často zastihují i zdroje tlakové vody, mnohdy s vydatnými přítoky.

Rovněž tu panují velmi tvrdé klimatické vlivy s dlouhou zimou doprovázenou velkým množstvím sněhových srážek.

V současné době již lze říci, že pracovníci Metrostavu a.s. tuto nelehkou výzvu práce v náročných podmínkách zvládli a daří se jim plnit termíny výstavby.

Islandský tunel Norðfjörður a norský tunel Veitastrand jsou úspěšně proražené. Nyní probíhají dokončovací práce. Stavba dalšího norského tunelu Joberg je na začátku realizace.

Společnost Metrostav a.s. aktivně působí na severském stavebním trhu s tříletou přestávkou od roku 2006. Celkově již pomocí osvojené metody Drill&Blast vyrazila přes 22 km silničních a železničních tunelů. Kromě Islandu a Norska bylo Metrostavem a.s. úspěšně realizováno také několik projektů ve Finsku.

*Ing. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
Ing. PAVEL BÜRGEL, pavel.burgel@metrostav.cz,
Ing. IVAN PIRŠČ, ivan.pirsc@metrostav.cz,
Metrostav a.s., Divize 5*

Recenzovali / Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler, Ing. Jan Rožek



*Obr. 8 Joberg – balvany z hloubení zářezu v ledovcové moréně
Fig. 8 Joberg – boulders from the excavation of the cutting in the glacier moraine*

Groundwater is mentioned in the geological survey only marginally. Nevertheless, concentrated groundwater inflows with the intensity of individual springs depending on precipitation were encountered during the excavation at the portal front end. A network of five wells lowering the water table was established along the mined tunnel length in the area of the moraine. Drainage boreholes will be realised for draining the area ahead of the face. The cutting is monitored by vertical inclinometers, pressure cells and a network of convergence measurement points.

Summary – Joberg

As of 03/02/2016, nearly 20% of the total length of the tunnel excavation has been finished. The remaining greater part of the tunnel route with the above-mentioned challenges, such as high overburden or excavation through the glacier moraine, will be realised during the coming months and the author will dedicate himself to them in a separate paper.

CONCLUSION

Conditions for construction work in the Nordic countries fundamentally differ from the conditions existing in the domestic environment. Whilst we encounter, to a greater extent, weaker rock types and relatively shallow overburden in Czech conditions and first of all in the surroundings of Prague, hard rock types and overburden heights measured in hundreds of metres are typical for Icelandic and Norwegian tunnels. Even water under pressure, often with substantial inflows, is frequently encountered during tunnel excavation.

In addition, very harsh climatic effects with long winter seasons accompanied by a large amount of snowfall exist there.

It is currently possible to say that Metrostav a.s. employees have successfully coped with the challenge of working in the difficult conditions and managed to fulfil construction deadlines.

The Icelandic Norðfjörður and Norwegian Veitastrand tunnels have been successfully broken through. At the moment the finishing work is underway. The construction of another Norwegian tunnel, Joberg, is at the beginning of the realisation.

The company of Metrostav a.s. has been active on the Nordic construction market since 2006, with a 3-year interruption. It has finished the excavation of over 22km of road and railway tunnels using the Drill&Blast method. Apart from Iceland and Norway, Metrostav a.s. has successfully completed several projects in Finland.

*Ing. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
Ing. PAVEL BÜRGEL, pavel.burgel@metrostav.cz,
Ing. IVAN PIRŠČ, ivan.pirsc@metrostav.cz,
Metrostav a.s., Divize 5*

LITERATURA / REFERENCES

MOSLER, J., PAVLOVSKÝ, V. Zkušenosti z realizace tunelových staveb v severských zemích. *Tunel*, 2/2015