

TUNEL NORDFJÖRÐUR, ISLAND

NORDFJÖRÐUR TUNNEL, ICELAND

ALEŠ GOTHARD, IVAN PIRŠČ

ABSTRAKT

Článek shrnuje základní informace o projektu Nordfjardargöng (tunelu Nordfjörður) realizovaným na východním pobřeží Islandu společností Metrostav a. s. Popisuje projekt a technické parametry tunelu, který bude po svém dokončení nejdelším silničním tunelem na Islandu. Popisuje také problematiku zastiženě geologie s nesoudržnými sedimentárními vrstvami tufů a navrženými opatřeními pro ražby v těchto podmínkách. V dalších částech popisuje mimo jiné navrženou strojní sestavu a dosažené výkony při ražbách a základní termíny tohoto projektu.

ABSTRACT

The paper summarises basic information on the Nordfjardargöng (Nordfjörður tunnel) project realised on the eastern coast of Iceland by Metrostav a. s. It describes the design and technical parameters of the tunnel, which will be the longest in Iceland after the completion. In addition, it describes problems posed by the encountered geology containing incohesive sedimentary layers of tuffs and the measures designed for the excavation passage through these conditions. In the other parts it describes, among other things, the designed equipment set, the excavation advance rates achieved and basic deadlines of this project.

ÚVOD

V srpnu 2013 zahájila společnost Metrostav a. s. ve sdružení s islandskou stavební společností Sudurverk ehf. práce na projektu silničního tunelu Nordfjardargöng na východním pobřeží Islandu. Po svém dokončení bude tento dvoupruhový tunel se svou raženou částí nejdelším silničním tunelem na Islandu. Celková linie projektu je 15,2 km dlouhá, z čehož 7,56 km tvoří ražený tunel a zbývající polovinu trasy nově zbudované komunikace. Hlavním účelem projektu je spojení dvou sousedních měst Eskifjörður a Neskaupstaður bezpečnou a na údržbu nenáročnou trasou. V každém městě žije okolo tisíce stálých obyvatel, které v současnosti dělí zhruba 24 km dlouhá cesta překonávající hřbet fjordu s převýšením více než 600 m. Na této komunikaci se nachází také stávajícím potřebám nedostačující jednopruhový, 640 m dlouhý tunel Oddskardgöng (obr. 1).

Tento tunel byl dokončen v roce 1977 po téměř pět let trvající výstavbě, pravidelně přerušované v zimním období. Tato komunikace je jedinou přístupovou cestou do vzdálenějšího města Neskaupstaður, ve kterém se nachází oblastní nemocnice a střední škola. Zimní údržba trasy je vzhledem k její poloze velmi náročná a nákladná a každým rokem bývá několik dní zcela neprůjezdná.

V roce 2005 nechal islandský správce komunikací Vegagerdin hf. zpracovat studii proveditelnosti tunelu Nordfjardargöng, ze které byla vybrána jedna z možných tras (obr. 2) a islandský projektant, společnost Mannvit ehf., na jejím základě zpracoval zadávací dokumentaci. O rok později bylo ovšem rozhodnuto o realizaci „konkurenčního“ projektu, Hédinsfjardargöng, který tentýž rok získal a v roce 2010 dokončil jako svůj první projekt na Islandu Metrostav a. s. ve sdružení se společností Háfell ehf. Vlastní realizace tunelu Nordfjardargöng tak byla o několik let odsunuta a také vzhledem k islandské bankovní krizi zahájena až v roce 2013. Na základě ÍST 30:2012 (islandská obdoba red FIDIC) bylo vypsáno dvoukolové výběrové řízení na dodavatele stavby, v němž uspělo sdružení společností Metrostav a. s. a Sudurverk ehf. Zatímco Metrostav a. s. zajišťuje ve sdružení vlastní ražby tunelu, dočasně a finální vystrojení a betonáže hloubených

INTRODUCTION

In August 2013 Metrostav a. s. in a consortium with Iceland-based Sudurverk ehf., started the work on the Nordfjardargöng road tunnel on the eastern coast of Iceland. After completion, this double-lane tunnel will be the longest road tunnel in Iceland with its mined part. The entire project route is 15.2km long; 7.56km of this length is taken by a mined tunnel and the remaining half of the route consists of newly built roads. The main purpose of the project is to connect two neighbouring towns of Eskifjörður and Neskaupstaður by a safe, low-maintenance route. Each of the towns has a permanent population of one thousand. They are currently divided by an approximately 24km long road overcoming a fjord ridge with the difference in elevation over 600m. There is Oddskardgöng single-lane tunnel located on this road, which is however insufficient for current needs (see Fig. 1).

This tunnel was finished in 1977, after the nearly five years lasting construction, which was regularly suspended during winter seasons. This road is the only access road to the remoter town of Neskaupstaður, in which there is a regional hospital and a high school. Taking into consideration the location, the



Obr. 1 Pohled na portál tunelu Oddskardgöng
Fig. 1 View of the Oddskardgöng tunnel portal

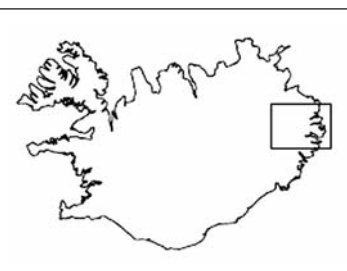


Obr. 2 Mapa oblasti
Fig. 2 Map of the region

úseků, partnerská společnost zajišťuje předstihové práce na zařízení staveniště a přípravě zářezů a po provedení ražeb také vnější terénní úpravy včetně finální vozovky, elektrorozvodů a ostatní telematiky tunelu. Stavebním dozorem byla pověřena islandská společnost HNIT hf. Oficiálním jazykem projektu je islandština, ve které probíhají všechny kontrolní dny a je v ní také zpracována kompletní projektová dokumentace.

PROJEKT A TECHNICKÉ PARAMETRY TUNELU

Veškeré ražební práce jsou prováděny tunelovací metodou Drill&Blast, vhodnou do místních geologických podmínek mladých basaltických hornin. Běžný příčný profil tunelu je obdobou norského standardu T8 s plochou výrubu 54,7 m² (obr. 3). V trase bude dále vyraženo celkem 14 nouzových zálivů s příčným profilem 77,27 m² (obr. 4), přičemž 8 z nich bude realizováno s další boční rozrážkou s profilem 34,5 m², resp. 53,4 m². Tyto rozrážky poslouží pro umístění technologie tunelu a současně jako bezpečnostní komory v případě požáru. Ražby budou s odstupem tří měsíců zahájeny z obou portálů, a to v délkách 4740 m ze západního a 2826 m z východního portálu. Většina trasy tunelu je vedena v oblouku s poloměrem 12 000 m, v připortálových úsecích je poloměr 700 m, s dovrchním stoupáním 3 %, resp. 1,5 %. Primární zajištění výrubu se provádí pomocí svorníkové výztuže a stříkaných betonů v tloušťce 40–60 mm. Veškeré prováděné stříkané betony musí 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, bude prováděno až po ukončení ražeb. Svorníková výztuž sloužící k primárnímu zajištění výrubu bude uvažována také jako součást definitivního vyztužení díla, a proto jsou všechny svorníky opatřeny ochrannou vrstvou zinku a epoxidového nátěru. V průběhu ražeb se používají převážně mechanicky upínané svorníky typu CT-bolt a svorníky typu SN aktivované po 24 hodinách



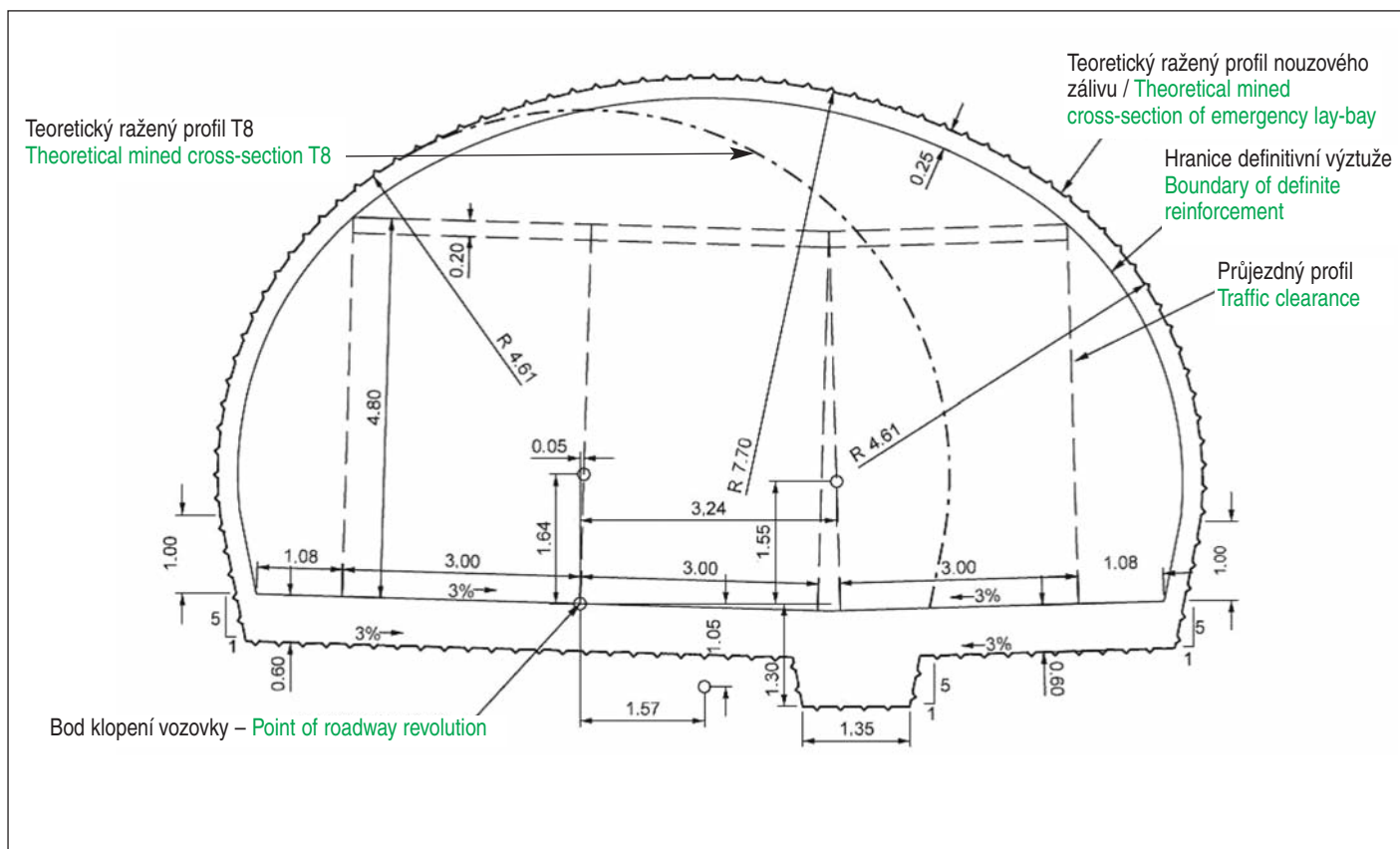
winter maintenance of this route is very demanding and expensive and the road has usually been every year totally impassable for several days.

In 2005, Vegagerdin hf., the Icelandic roads administrator, had a feasibility study prepared for the Nordfjordargöng tunnel. One of the potential routes was selected from the study (see Fig. 2) and Manvit ehf., an Icelandic designing office, prepared tender documents on its basis.

Nevertheless, a year later, a decision was made that a “competing” Hédinsfjardargöng project should be realised. The tender was won by Metrostav a. s. in consortium with Háfell ehf. The construction was finished in 2010 as the first Metrostav’s project in Iceland. The realisation of the Nordfjordargöng tunnel itself was therefore postponed for several years and the construction commenced, among other reasons with respect to the Icelandic banking crisis, later in 2013. The contract which went out to tender was based on the ÍST 30:2012 (the Icelandic analogy to FIDIC Red Book). The consortium consisting of Metrostav a. s. and Sudurverk ehf. succeeded in the two-round competition. While Metrostav a. s. carries out the tunnel excavation, temporary and final support and casting of concrete in cut-and-cover sections, the partner company ensures early works on the site facilities and preparation of cuttings and, after the completion of the tunnel excavation, also external terrain finishes including the final roadway, wiring and installation and other tunnel telematics. HNIT hf., an Icelandic company, was authorised to carry out client’s supervision. The official language is Icelandic, in which all progress meetings are held and the complete design is worked out.

TUNNEL DESIGN AND TECHNICAL PARAMETERS

All tunnelling operations are carried out using the Drill&Blast technique, which is suitable for the local geological conditions formed by young basaltic rock. The common tunnel cross-section is an analogy to the Norwegian standard T8 with the excavated cross-sectional area of 54.7m² (see Fig. 3). The total of 14 emergency lay-bys with the excavated cross-sectional areas of 77.27m² will in addition be excavated along the route (see Fig. 4); 8 of them will be realised with an additional side stub with the profile of 34.5m² and 53.4m², respectively. These tunnel stubs will be used for the installation of tunnel equipment and, at the same time, will serve as emergency niche cabins in the case of a fire. The excavation will start from



Obr. 4 Příčný řez tunelem v nouzovém zálivu
Fig. 4 Tunnel cross-section in emergency lay-by

TUNEL NORDFJÖRÐUR

celková délka	7 908 m
ražená část	7 566 m
plocha výrubu běžného profilu	54,7 m ²
plocha výrubu nouzového zálivu	77,27 m ²
hloubený úsek (západní portál)	120 m
hloubený úsek (východní portál)	222 m
počet nouzových zálivů.....	14 ks
kubatura ražených částí	434 000 m ³

GEOLOGIE

Ostrov Island leží v severní části Atlantického oceánu v místě souběhu divergentního deskového rozhraní na středoatlantském hřbetu a plášťového diapiru. Divergentní deskové rozhraní na Islandu je tvořeno rozvětvenými riftovými zónami



Obr. 5 Sedimentární vrstvy tufů
Fig. 5 Sedimentary layers of tuff

The tender documents do not assume, with the exception of about 600m, more significant inflows of groundwater. Its temperature is assumed to be higher than 7°C and the documents consider that the inflows will be sealed by the injection of cement-based grout mixes into the tunnel advance core. Several minor cases of local dripping with the maximum inflow of 28L/min were registered in the already completed part of the tunnel excavation.

Non-electrically initiated pumped emulsion explosives supplied by Orica company are used for the rock disintegration. The consumption of explosives ranges from 2.5 to 2.9kg/m³ of disintegrated rock, depending on the rock mass quality. The length of production drillholes corresponds to the maximum possible length of drifter rods on 18" feeds of the drill rig, i.e. 5.2m; the recovery commonly amounts to 98%.

The work proceeds in 8-week tours of duty, six days per week, in day and night shifts. Sundays are days of rest. The project is permanently realised by fifty employees of the in-house core technology department of Division 5 of Metrostav a. s. and additional about thirty employees of the consortium partner and sub-contractors.

NORDFJÖRÐUR TUNNEL

total length	7908m
mined part.....	7566m
excavated cross-sectional area of common tunnel	54.7m ²
excavated cross-sectional area of emergency lay-by	77.27m ²
cut-and-cover section (western portal)	120m
cut-and-cover section (eastern portal).....	222m
number of emergency lay-bys	14
volume of mined sections	434,000m ³

mezi hřbety Reykjanes na JZ a Kolbeinsey na SV. Dochází na něm k nárůstu nové zemské kůry a oddělování severoamerické a eurasijské kontinentální desky rychlostí asi 2 cm/rok. Východní pobřeží Islandu je jedním z nejstarších oblastí tohoto ostrova (přibližně 13 mil. let). Je tvořeno terciévními bazalťovými formacemi, které kromě východu vystupují i na jiho-východě a západě Islandu a dohromady zaujímají téměř polovinu plochy celého ostrova. Formace zahrnují z 80 % tholeitické bazalty ve formě lávových proudů, které tvoří jemně- až střednězrnité, kompaktní i proplyněné čediče, většinou silně tektonicky porušené. Tyto proudy byly přerušovány více či méně krátkými periodami, během nichž sedimentoval převážně vulkanoklastický materiál a zeminy, které tvoří často velmi nesoudržné tufové vrstvy o mocnostech od několika desítek centimetrů do několika metrů.

Podle geologické dokumentace lze očekávat, že tyto proplátky budou postupovat postupně celou trasou tunelu (obr. 5). Podle jádrových vrtů realizovaných v připořádkových částech tunelu budou po trase zastíženy dokonce oslabené vrstvy mocnosti až 30 m. Tvoří je různé sedimentární horniny jako ignimbrity, ale také velmi nesoudržné prachovce. Obecné uložení vrstev je subhorizontální s inklinací 3–8 % postupně stoupající ze dna do přístropí díla při ražbách ze západního portálu a postupně klesající z východního portálu (obr. 6). Pro klasifikaci horninového prostředí je využíván Q systém.

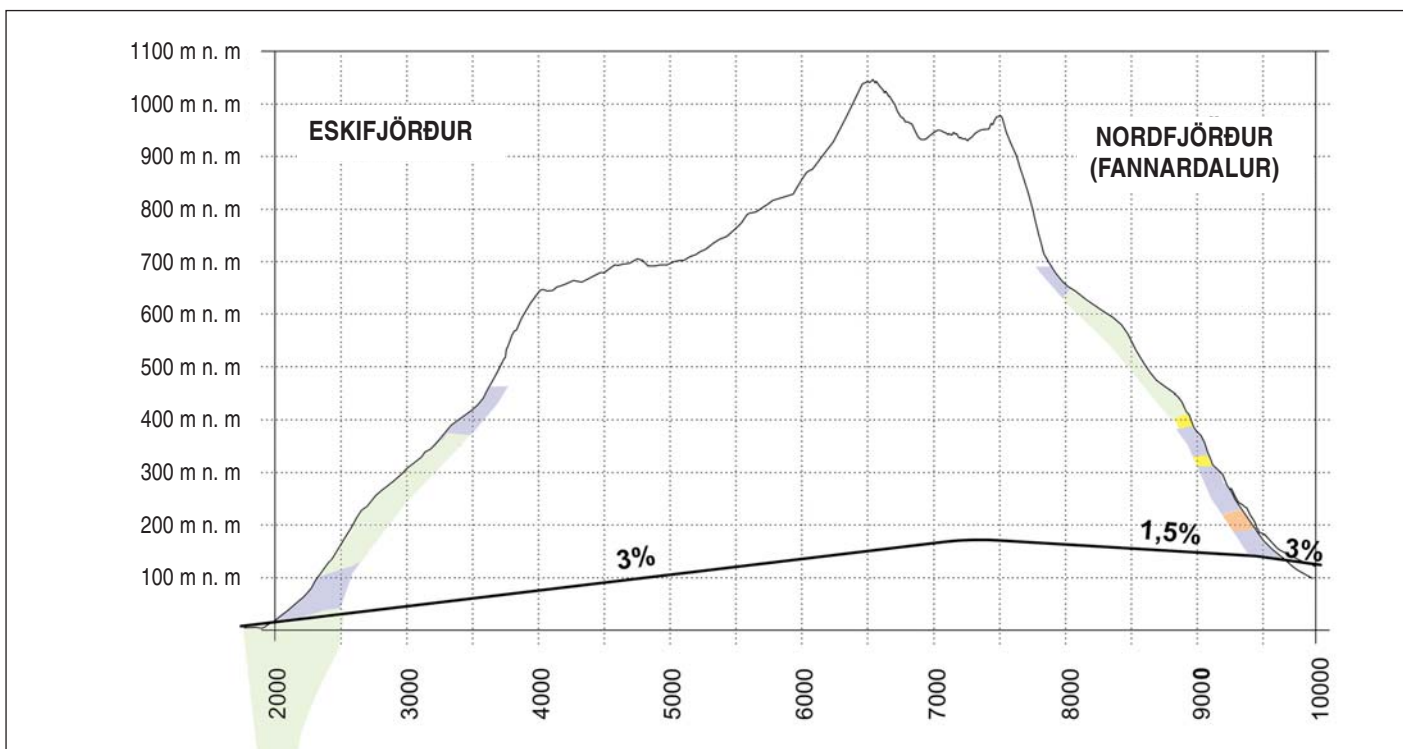
Přibližně v polovině trasy tunelu, v místě pod vrcholem hory Tvífjöll, dosáhne nadloží tunelu výšky 880 m. Zde lze předpokládat největší projevy horského tlaku ve formě odprysku hornin v bocích raženého díla.

Na základě IG a hydrogeologického průzkumu s dodatečným provozním průzkumem byla potvrzena velká mocnost a nepříznivá poloha tufové vrstvy vůči v trase prvního zálivu raženého ze západního portálu (staničení 2450 m). Ten byl následně posunut o 25 m a vsazen do ještě stabilního masivu. Během ražeb byly postupně zastíženy čtyři tufové vrstvy

GEOLOGY

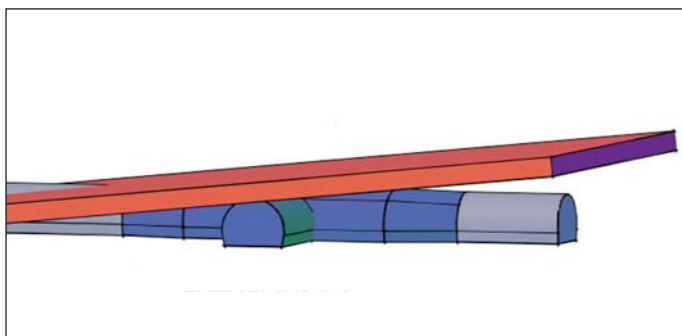
Iceland island is found in the northern part of the Atlantic ocean, in the location where the divergent plate interface on the Mid-Atlantic Ridge runs in parallel with the mantle diapir. The divergent mantle interface in Iceland is formed by branched rift zones between the ridges of Reykjanes in the SW and Kolbeinsey in the NE. The new earth's crust grows in this area and the North American plate separates from the Eurasian plate at the rate of about 2cm per year. The eastern coast of Iceland is one of the oldest areas of this island (approximately 13 million years). It is formed by Tertiary basalt formations. In addition to the east, these formations rise up even in the south east and west of Iceland, covering nearly a half of the surface of the whole island. Eighty per cent of the formations are formed by tholeitic basalts in the form of lava flows, consisting of fine- to coarse-grained, compact as well as gas bubbles-filled basalt, mostly heavily tectonically faulted. These flows were interrupted by more or less short periods, during which volcanoclastic material and soils, frequently forming very incohesive tuff layers with the thickness ranging from several tens of centimetres to several metres, sedimented.

According to the geological documents, it is possible to expect that these interbeds will gradually penetrate the whole tunnel route (see Fig. 5). According to the cored boreholes carried out in the portal sections of the tunnel, even weakened layers up to 30m thick will be encountered along the route. They are formed by various sedimentary rock types, such as ignimbrites, but also very incoherent siltstones. The general composition of the beds is sub-horizontal with the incline of 3–8%, gradually ascending from the excavation bottom to the top heading when driving from the western portal and gradually descending when driving from the eastern portal (see Fig. 6). The Q-system is used for the rock environment classification.



Obr. 6 Podélný řez trasou tunelu

Fig. 6 Longitudinal section through the tunnel route



Obr. 7 Průnik sedimentární tufové vrstvy zálivem v projektovém staničení 2450 m

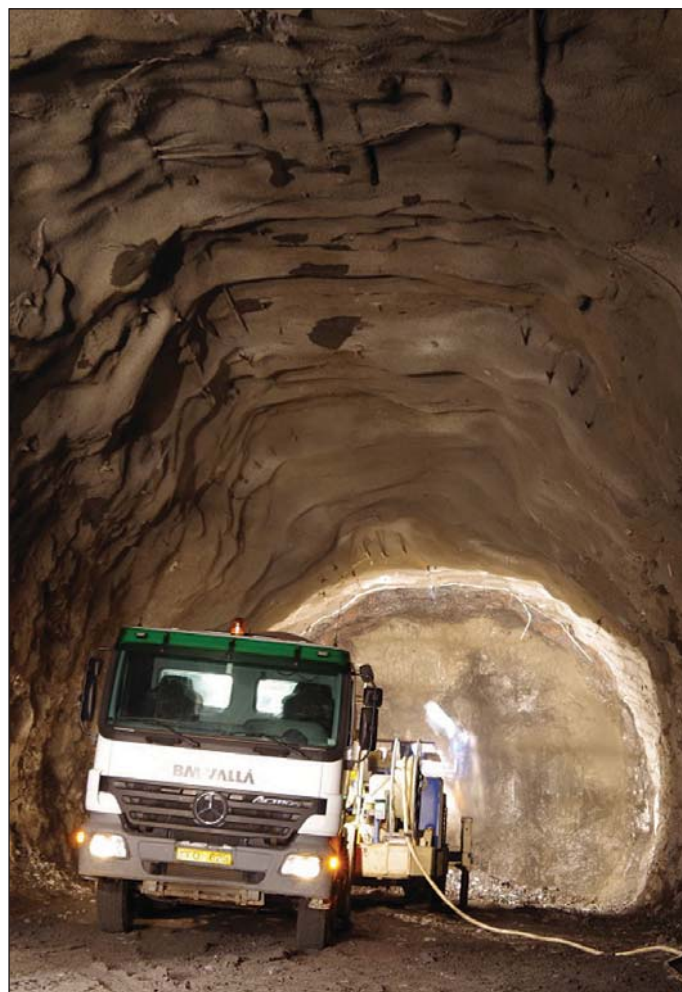
Fig. 7 Intersection of the sedimentary tuff layer through the emergency lay-by at design chainage of 2450m

o mocnostech 0,5–2,5 m s velmi rozlišnými geomechanickými vlastnostmi.

Během průniků ražeb s vrstvou tufů v přístropí tunelu (obr. 7) dochází ke ztrátě stability klenby tunelu. Tufová vrstva v přístropí tunelu musí být strojně stržena až na kontaktní čedičovou vrstvu a tím vzniká profil tunelu pravoúhlého tvaru (obr. 8, 9).

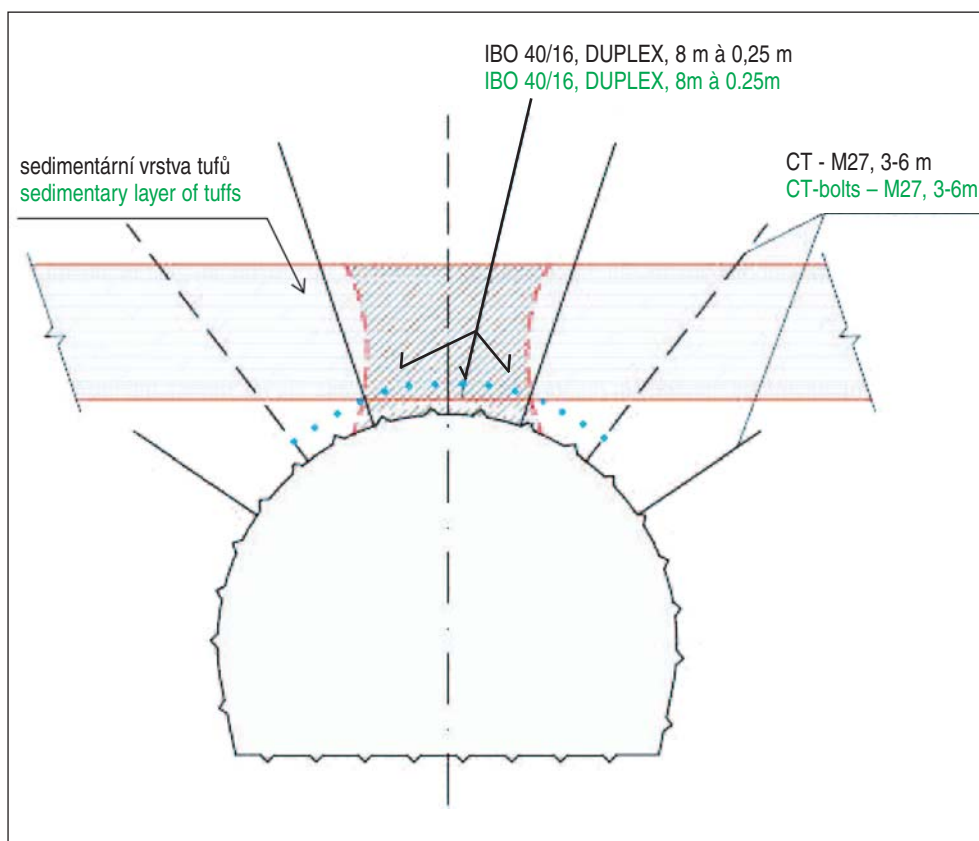
STROJNÍ SESTAVA

Základní strojní sestava je tvořena třílafetovým vrtacím vozem společnosti Sandvik DT1130 DATA osazeným 18" lafetami, pásovým rypadlem Komatsu PC210 s impaktorem, kolovým nakladačem CAT 980 a manipulátorem stříkaného betonu Meyco Potenza. Partner ve sdružení zajišťující dopravu rubaniny z tunelu brzy odzkouší svou vlastní metodu s použitím dopravníků rubaniny na kolovém podvozku Goldhofer (obr. 10). Dva takové dopravníky, každý s kapacitou pro 144 m³ rostlé horniny (resp. 400 t nákladu), budou zataženy po



Obr. 8 Nadvýlom pravoúhlého tvaru

Fig. 8 Rectangular overbreak



Obr. 9 Schéma vyztužení – uzavírání klenby

Fig. 9 Excavation support chart – closing of the vault

Approximately at the mid point of the tunnel route, in the location under the peak of Tvífjöll mountain, the tunnel overburden height will reach 880m. In this place, it is possible to expect greatest manifestations of the overburden pressure in the form of bursting rock out of the excavation sidewalls.

The great thickness and unfavourable position of the tuff layer relative to the route of the first emergency lay-by mined from the western portal (chainage 2450m) was confirmed on the basis of the engineering geological and hydrogeological survey with a supplementary operative survey. The lay-by was subsequently shifted by 25m and inserted into the still stable massif. The excavation step-by-step encountered four tuff beds with the thickness ranging from 0.5 to 2.5m, the geomechanical properties of which significantly differed.

During the intersection of the excavation with a tuff bed in the tunnel top heading (see Fig. 7) the tunnel vault loses stability. The



Obr. 10 Dopravník rubaniny na kolovém podvozku Goldhofer tažený kolovým nakladačem

Fig. 10 Muck transporter on Goldhofer wheeled undercarriage pulled by a wheeled loader

odpalu do tunelu, naloženy a znovu vytaženy ven. Do těchto dopravníků bude uložena rubanina z celého 5 m dlouhého odpalu běžného profilu tunelu. Výhodou této metody je, že po dobu nakládání dopravníků nebude tunel blokován projíždějícími nákladními vozy, takže je možné provádět další činnosti za čelbou tunelu (např. osazování definitivní svorníkové výztuže, prodlužování rozvodů a médií, údržba cesty apod.).

Větrání díla je zajištěno jako foukací ze západního portálu ventilátorem Cogemacoustic o výkonu 2x355 kW a lutnovým tahem PROTAN o průměru 2400 mm, na východním portálu bude použit ventilátor stejného výrobce s výkonem 2x200 kW a lutnovým tahem o průměru 2200 mm.

ZÁVĚR

Do 2. 3. 2014 bylo vyraženo necelých 800 m tunelu (tj. přibližně 10 % celkové délky) ze západního portálu tunelu a během několika dní budou zahájeny ražby také z východního portálu. Dosavadní průměrný postup prací v zastižených geologických a hydrogeologických podmínkách je 260–290 m za měsíc (tj. 10,4–11,9 m za den), který koresponduje s původními předpoklady projektu. Termín předání hotového díla je v září 2017 a samotné dokončení ražeb je plánováno v druhé polovině roku 2015.

Společnost Metrostav a. s. si během posledních let dokázala osvojit ražební metodu Drill&Blast, kterou s úspěchem nasadila na několika projektech realizovaných na Islandu a ve Finsku. Celková délka zde tak již realizovaných tunelových staveb překračuje sumu 16 km. V současné době také tato společnost začala připravovat a podávat nabídky na nové zajímavé projekty do další severské země Norska.

ING. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
ING. IVAN PIRŠČ, ivan.pirsc@metrostav.cz,
METROSTAV a. s.

Recenzovali: Ing. Jan Korejčík, Ing. Pavel Polák

tuff bed in the tunnel top heading must be mechanically pulled down up to the basalt contact layer. As a result, a rectangular tunnel cross-section originates (see Figures 8 and 9).

EQUIPMENT SET

The basic equipment set consists of a three-boom drill rig DT1130 DATA manufactured by Sandvik with 18" feeds installed on the booms, a tracked Komatsu PC210 excavator with an impact breaker, a CAT 980 wheeled loader and a Meyco Potenza shotcrete manipulator. The consortium partner providing the transport of muck from the tunnel will soon test its own method using Goldhofer wheeled muck transporters (see Fig. 10). Two trailers of this type, each with the capacity of 144m³ of natural ground (or 400 tonnes of load) will be pulled into the tunnel after blasting to be filled with muck and again pulled out. These trailers will hold muck originating by the blasting of the 5m long common profile tunnel excavation round. The advantage of this method is that the tunnel will not be blocked by passing trucks throughout the period of loading muck on trailers, which means that it will be possible to carry out other activities at the tunnel heading (e.g. the installing the final rockbolt support, extending utility services and media, maintaining the road etc.).

The forced system of the ventilation of the working from the western portal is applied, using a Cogemacoustic fan with the output of 2x355kW and PROTAN ducting with the diameter of 2400mm; a fan from the same manufacturer with the output of 2x200kW with 2200mm diameter ducting will be used at the eastern portal.

CONCLUSION

Nearly 800m of the tunnel excavation (i.e. approximately 10% of the total length) were finished from the western tunnel portal till 02/03/2014 and the excavation from the eastern portal will commence in several days. The current average advance rate of tunnelling through the geological and hydrogeological conditions encountered amounts to 260–290m per month (i.e. 10.4–11.9m per day), which corresponds to original project assumptions. The deadline for the handing of completed works over to the client is in September 2017 and the completion of the excavation is planned for the second half of 2015.

Metrostav a. s. has managed during the last years to acquire the Drill&Blast excavation technique and has applied it successfully to several projects in Iceland and Finland. The total length of the structures already completed in these countries exceeds 16km. This company has currently started to prepare bids for new interesting projects to another Nordic country, Norway.

ING. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
ING. IVAN PIRŠČ, ivan.pirsc@metrostav.cz,
METROSTAV a. s.

LITERATURA / REFERENCES

1. LOFTSSON, M. a kol. *Nordfjardargöng*. Reykjavík: Mannvit, 11/2012
2. KRYŠTOFOVÁ, E. *Fotoreportáže, Na Island za geologii recentního riftu*.
<http://www.geology.cz/app/reportaze/fotogal.pl?id=50>