

TUNEL DÝRAFJARÐARGÖNG – DO TŘETICE DÝRAFJARÐARGÖNG TUNNEL – FOR THE THIRD TIME

JOSEF MALKNECHT

ABSTRAKT

Článek popisuje jediný islandský tunelový projekt, který je momentálně ve výstavbě – Dýrafjarðargöng. Po svém dokončení zajistí bezproblémové zimní spojení sousedních fjordů (Arnarfjörður a Dýrafjörður), a tím i v zimě oddělených komunit západních fjordů. Práce realizuje stavební společnost Metrostav a.s. ve sdružení s islandskou firmou Suðurverk hf. od června 2017. Přestože se nejedná o nejdelší islandský tunel, odlehlost místa výstavby jej řadí mezi nejsložitější. Příspěvek se zaměřuje na popis ražeb (Drill&Blast), zastiženou geologii a strojní sestavu (včetně opatření nutných kvůli nedostupnosti servisů). Rozebírá velmi dobré výkony, které se řadí mezi nejlepší dosažené nejen na Islandu, ale i v celé Skandinávii. Zmiňuje logistické problémy a opatření ke zvládnutí složité situace během první zimy, kdy byly příjezdové cesty k jižnímu portálu průjezdné maximálně několik dní každé čtyři týdny. Popisuje i aplikaci finálního ostění a izolaci proti vodě a mrazu.

ABSTRACT

The paper describes the only tunnel construction project currently under construction in Iceland – the Dýrafjarðargöng. After its completion, it will provide problem-free winter connection of neighbouring fjords (Arnarfjörður and Dýrafjörður), and thus also communities of western fjords separated in winter. The construction is carried out by Metrostav a.s. in consortium with the Icelandic company Suðurverk hf. since June 2017. Although it is not the longest Icelandic tunnel, the remoteness of the construction site ranks it among the most complicated. The paper is focused on description of the underground excavation method (Drill&Blast), the geology encountered and the tunnelling equipment set (including measures necessary due to unavailability of services). It discusses the very good performance, which ranks it among the best achieved not only in Iceland, but also in the entire Scandinavia. It mentions logistic problems and measures to deal with the difficult situation during the first winter, when the access roads to the southern portal were passable for a maximum of several days every four weeks. It, in addition, describes the installation of the final lining and the waterproofing and frostproofing.

ÚVOD

V září roku 2017 zahájila stavební společnost Metrostav a.s. ve sdružení s islandskou společností Suðurverk hf. ražby silničního tunelu Dýrafjarðargöng na Islandu. Tento projekt je již v pořadí třetí velkou stavební zakázkou Metrostavu a.s. na Islandu. První zakázkou byla mezi lety 2006–2010 výstavba dvou silničních tunelů Héðinsfjarðargöng s celkovou délkou ražeb 10 575 m. Druhým projektem se stal v letech 2013–2017 silniční tunel Norðfjarðargöng. Slavnostní otevření tohoto tunelu proběhlo 11. 11. 2017 a se svou raženou délkou 7 566 m se tak stal nejdelším silničním dvoupruhovým tunelem na Islandu. Aktuální projekt Dýrafjarðargöng je se svou raženou délkou 5 301 m sice nejkratším ze všech tří, ale vzhledem k odlehlosti místa, na kterém se realizuje, rozhodně nenejjednodušším. Po dokončení tohoto projektu bude celková realizovaná délka ražeb na Islandu provedená společností Metrostav a.s. od roku 2006 přesahovat 23 km.

Hlavním účelem tohoto projektu je zajištění bezproblémového a na údržbu nenáročného spojení mezi fjordy Dýrafjörður a Arnarfjörður v západním Islandu (obr. 1), a tím vytvoření alternativní zimní trasy mezi „hlavním městem“ západních fjordů Ísafjörðurem a Reykjavíkem. Stávající trasa bude zkrácena o necelých 30 km a nahradí tak nedostačující nezpevněnou cestu vedoucí přes hřbet Hrafnseyrarheiði s převýšením více než 500 m. V zimním období, které v dané oblasti trvá více než 6 měsíců v roce, je cesta uzavřena pro veškerou dopravu.

Jako v případě předcházejících dvou projektů, je i tentokrát zadavatelem islandská státní organizace Vegagerðin (obdobu českého ŘSD), která v roce 2016 vypsal veřejné výběrové řízení. To bylo vypsáno podle islandských standardů ÍST 30:2012 (islandská obdoba červeného FIDIC) jako dvoukolové. První kolo proběhlo

INTRODUCTION

In September 2017, the construction company of Metrostav a.s., in consortium with the Icelandic company of Suðurverk hf., commenced the excavation of the Dýrafjarðargöng road tunnel in Iceland. This project is already the third large construction contract of Metrostav a.s. in Iceland. The first contract was implemented between 2006–2010, for construction of two Héðinsfjarðargöng road tunnels with the total excavation length of 10,575m. The Norðfjarðargöng road tunnel project in 2013–2017 was the subject of the second contract. The ceremonial opening of this tunnel took place on 11 November 2017 and the tunnel with its excavation length of 7,566m became the longest double-lane tunnel in Iceland. The current Dýrafjarðargöng tunnel with its mined length of 5301m is the shortest of all three tunnels, but it definitely is not the simplest. After completion of this project, the overall length of tunnel excavation completed in Iceland by Metrostav a.s. since 2006 will exceed 23km.

The main objective of this project is to provide problem-free and not demanding in terms of maintenance connection between Dýrafjörður and Arnarfjörður fjords in western Iceland (see Fig. 1) and thus an alternate connection between Ísafjörður, the “capital” of the western fjords, and Reykjavik. The length of the existing route will be reduced by less than 30km and the route will replace the unpaved road leading across the Hrafnseyrarheiði crest with the difference in elevations of over 500m. In winter periods, which last in the area longer than 6 months a year, the road is closed for all traffic.

As in the case of the previous two projects, the organisation of Vegagerðin (similar to Czech Roads and Motorways Directorate) has again the role of the contracting authority. It issued a public call for bids in 2016. It was issued as a two-round competition, in compliance with Icelandic standards ÍST 30:2012 (Icelandic



Obr. 1 Mapa oblasti
Fig. 1 Area map

formou prequalifikace jednotlivých uchazečů. Jediným kritériem druhého kola výběrového řízení byla nejnižší nabídnutá cena. Ve finále se ho zúčastnilo celkem pět společností, mezi kterými byly stavební firmy z Norska, Islandu, Dánska, ale také z Itálie.

Přípravné stavební práce předcházející vlastním ražbám tunelu byly zahájeny v červenci 2017, přičemž smluvní termín na předání hotového díla je stanoven na říjen 2020.

Stavebním dozorem byly pověřeny firmy Geotek ehf. a Efla ehf. Oficiálním jazykem projektu je islandština.

GEOLOGIE

Island se nachází v severní části Atlantického oceánu, tam kde se sbíhá divergentní deskové rozhraní středoatlantského hřbetu mezi euroasijskou a severoamerickou deskou a plášťový diapir. Podmořskými segmenty středooceánského hřbetu nejbližší k Islandu je hřbet Reykjanes na jihu a hřbet Kolbeinsey na severu. Zde dochází k rozpínání a růstu zemské kůry s rychlostí asi 2 centimetry za rok. Západní fjordy byly podle K-Ar datování (tj. kalium-argonové metody) vytvořeny v období před 10 až 16 miliony lety. Během tohoto období mladších třetihor vznikly zdejší bazaltové formace, jejichž obecný sklon je nyní subhorizontální. Bazalty jsou různého typu, nejčastěji tholeitické a olivinické, jemno až středně zrné, šedé barvy. Jednotlivé bazaltové vrstvy mají často ve svém podloží i nadloží skorii nebo skoriový bazalt.

Tunel se ráží v horském hřebenu mezi nejnvtitnějšími konci fjordů Dýrafjörður a Arnarfjörður. Ten je tvořen relativně dobře strati-fikovanými bazaltovými horninami, které jsou proloženy sedimentárními vložkami. Horniny jsou subhorizontálně uloženy směrem

equivalent to the Czech FIDIC Red Book). The first round took place in the form of prequalification of individual competitors. The only criterion of the second round of the tender was the lowest bid. In the final the total of five companies, with construction companies from Norway, Iceland, Denmark, but also Italy among them, took part in it.

Preliminary work operations preceding the tunnel excavation commenced in July 2017, while the contractual deadline for handing the completed works over is set for October 2020.

The contract for construction supervision was concluded with the companies of Geotek ehf. and Efla ehf. Icelandic is the official language for the project.

GEOLOGY

Iceland is located in the northern part of the Atlantic ocean, where the divergent boundary of the Mid-Atlantic Ridge between the Eurasian Plate and the North American Plate converges with the mantle diapir. The Reykjanes ridge in the south and the Kolbeinsey ridge in the north are the submarine segments of the mid-ocean ridge closest to Iceland. Here the Earth's crust expands and grows at a rate of about 2 centimetres per year. According to the K-Ar dating (i.e. the kalium-argon method), the western fjords were formed in the period before 10 to 16 million years. The local basaltic formations, the general dip of which is currently sub-horizontal, developed during this Later-Tertiary period. There are various types of basalt there, most frequently tholeiitic and olivinitic, fine- to medium-grained, grey. Individual basalt layers have frequently scoriae or scoriaceous basalt in their roof and basement.

The tunnel is being driven through a mountain ridge between the



Obr. 2 Portál Dýrafjörður
Fig. 2 Dýrafjörður portal

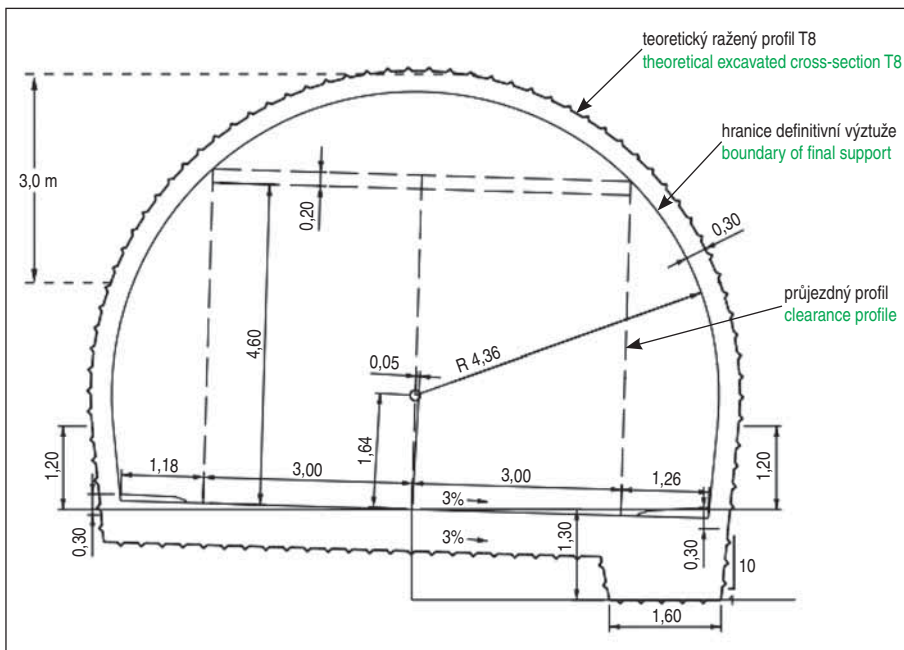


Obr. 3 Sedimentární vložka sestupuje od stropu
Fig. 3 Sedimentary interlayer descending from the excavation roof

innermost ends of the Dýrafjörður fjord and the Arnarfjörður fjord. The ridge is formed by relatively well stratified basalt rock, which is interlayered by sedimentary rock. The rock dips sub-horizontally, trending south-east. The basalt lava consists mostly of porphyritic basalt. The usual thickness ranges from 5 to 15 metres.

A number of true veins, but relatively few faults were encountered on the tunnel excavation side from Arnarfjörður. The thickness of the true veins is very variable. They usually consist of parallel vertical layers of repeated magmatic intrusions along the tectonic lineament. From the side of Dýrafjörður, the frequency of true veins was small. The average thickness of sedimentary interlayers on the side of the excavation from Arnarfjörður amounted to 0.3 metre and was relatively constant.

On the side of the tunnel excavation from Dýrafjörður (see Fig. 2), the thickness of three encountered interlayers was significantly variable (0.5; 1.5 and 5m). According to the borehole carried out during the geological



Obr. 4 Příčný průřez tunelu
Fig. 4 Tunnel cross-section

k jihojihovýchodu. Bazaltová láva se skládá z převážně porfyrického bazaltu. Obvyklá mocnost je mezi 5 až 15 metry.

Na straně ražby z Arnarfjörðuru bylo zastíženo množství pravých žil, ale relativně málo zlomů. Pravé žíly mají velmi rozdílné mocnosti a obvykle jsou složeny z paralelních vertikálních vrstev opakovaných magmatických intruzí podél tektonického lineamentu. Ze strany Dyrafjörðuru byla četnost pravých žil malá. Průměrná mocnost sedimentárních vložek byla na straně ražby z Arnarfjörðuru 0,3 metru a byla poměrně stálá.

Na straně ražby z Dýrafjörðuru (obr. 2) byla mocnost tří zastížených vložek značně proměnlivá (0,5; 1,5 a 5 m). Podle vrtu provedeného při geologickém průzkumu měla být tloušťka poslední sedimentární vrstvy 8 až 10 metrů. Rozdíl ukazuje na kolísání mocnosti tohoto sedimentu a odhaluje vhodnost dalšího vrtu, pokud je při geologickém průzkumu zjištěna takto ražbu ovlivňující vrstva. Sediment je tvořen zejména jílovcem až prachovcem, převážně červené barvy (obr. 3).

Několikrát byly nalezeny zbytky zkamenělého dřeva, které jsou pozůstatky dávného lesa. Zajímavostí je nález ryzí mědi na povrchu. V nadloží sedimentu byl také na několika čelbách zastížen lignit o mocnosti několika centimetrů.

RAŽBY

Tunel délky 5 301 m byl směrově navržen s oblouky o poloměru 600 m u obou portálů do prvních závlivů a poloměrech 12 000 m ve zbytku trasy. Sklon nivelety 1,5 % je dovrchní od jižního portálu po přibližně 2/3 délky (3 685 m) a pak klesá ve stejném sklonu 1,5 % k severnímu portálu v délce 1 616 m. Běžný příčný profil je obdobou norského standardu T8 s plochou výrubu 55,59 m² (obr. 4). Deset nouzových závlivů o příčném profilu 77,7 m² bylo vyraženo každých přibližně 500 m, sedm z nich s další příčnou rozrážkou nebo rozrážkami. Tyto rozrážky slouží pro vybudování technických místností, záchranných místností nebo závlivů pro otáčení (obr. 5).

Tunel byl ražen metodou Drill&Blast. Ražby prováděné tímto způsobem jsou velmi efektivní, a to nejenom vzhledem k jejich rychlosti, ale také z pohledu relativně nízkých nákladů pro investora. Tuto metodu lze ovšem využít pouze v pevných skalních horninách, které na Islandu převládají. Základním aspektem metody

survey, the last sedimentary layer was to be 8 to 10 metres thick. The difference indicates fluctuation in the thickness of this sediment and reveals appropriateness of another borehole when such a layer affecting the excavation is detected during geological survey. The sediment is formed mainly by claystone to siltstone, mostly red (see Fig. 3).

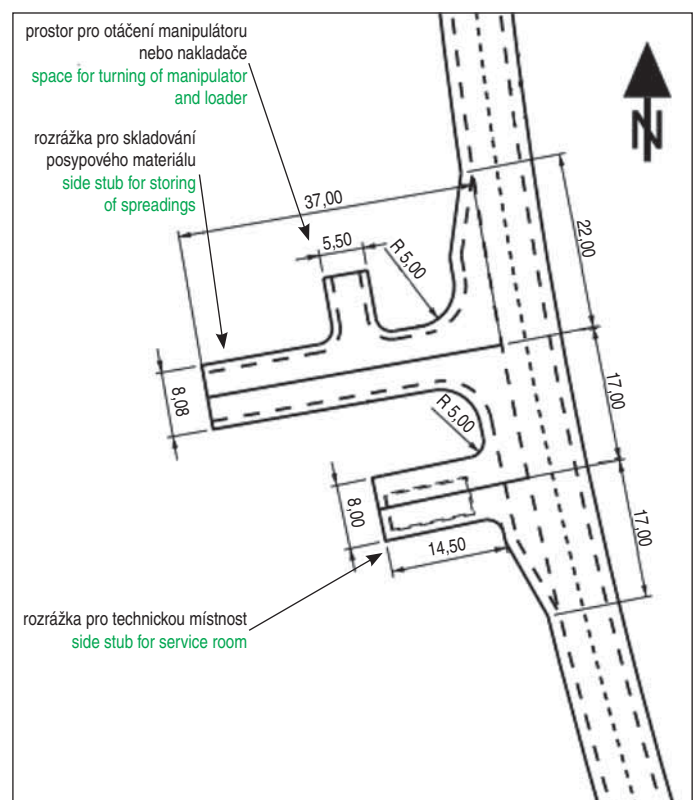
Remains of petrified wood from an ancient forest were found several times. Of interest is the finding of pure copper on the surface. Several centimetres thick lignite strata overlying the sediment was also encountered at several headings.

TUNNEL EXCAVATION

The 5301m long tunnel was designed with the radii of horizontal curves of 600m from both portals up to the initial lay-bys and with diameters of 12,000m on the remaining route. The gradient of the grade line of 1.5% is inclined upwards from the southern portal, approximately on 2/3 of the length (3685m) and then continues downhill on the same gradient

of 1.5% up to the northern portal, along the length of 1616m. The common cross-section is an analogy to Norwegian standard T8 with the excavated area of 55,59m² (see Fig. 4). Ten emergency lay-bys with cross-sectional areas of 77.7m² were excavated approximately every 500m; seven of them together with additional transverse stubs or tunnel stubs. The tunnel stubs are used to build service rooms, emergency rooms or turning lay-bys (see Fig 5).

The tunnel was driven using the Drill&Blast method. Tunnel excavation carried out using this technique is very effective, not only with respect to the advance rates but also in terms of relatively low



Obr. 5 Rozrážky v bezpečnostním závlivu B
Fig. 5 Tunnel stubs in safety lay-by B

Drill&Blast je použití primární výztuže, tj. svorníků a stříkaného betonu, alternativně s rozptýlenou výztuží. Primární výztuž není separována od definitivního ostění a tvoří jeden celek. Definitivní vyztužení tvoří zpravidla další vrstva stříkaného betonu a doplnění svorníků do definovaného rastru. Návrh vyztužení díla se provádí každý záběr na základě Q-systému.

Ražby probíhají obvykle s využitím trhačích prací, výjimečně také se strojním rozpojováním. K rozpojování horniny se používají emulzní trhavin. Délka produkčních vrtnů odpovídá maximální možné délce vrtných tyčí na 18' lafetách vrtacího vozu, tj. 5,2 m.

Primární zajištění výrubu tunelu je realizováno pomocí různých typů svorníkové výztuže a stříkaného betonu. Dodatečné svorníkování a další vrstva stříkaného betonu pak slouží jako definitivní vyztužení tunelu. Až na výjimky jsou používány pouze svorníky s povrchovou úpravou pozinkováním a epoxidovým nátěrem v tloušťkách alespoň 65, resp. 60–100 μm .

Ražby byly na jižním portále (Arnarfjörður) zahájeny prvním odpalem 12. 9. 2017. V prvních měsících byly nepříznivě ovlivněny geologickou situací s častými přítoky netlakové vody (obr. 6). Tyto přítoky působily problémy při geodetickém zaměřování tunelu a negativně působily i na elektroinstalaci strojů. Přítoky musely být tudíž odkloněny nastřelenými svody.

Počátkem března 2018 se geologické podmínky výrazně zlepšily a až do konce ražeb z jižního portálu zůstaly poměrně příznivé. Nicméně několikrát zastížené přítoky vody, poruchy a sedimentární mezivrstvy (o mocnosti do půl metru) výrazně neovlivnily rychlost postupů.

Ve čtyřech měsících období března až září 2018 bylo překonáno vždy min. 300 vyražených tunelmetrů, s nejlepším dosaženým měsíčním výkonem 402,5 metrů. Tento výkon je v daném profilu nejlepší na celém Islandu. V tom samém období bylo v sedmnácti týdnech dosaženo nebo překročeno 80 vyražených tunelmetrů, dvakrát bylo překročeno 100 metrů za týden (tab. 1).

Tab. 1 Měsíční výkony, portál Arnarfjörður, od března 2018

měsíc	tunel [m]	rozrážka [m]	celkem [m]
březen	387,2	0,0	387,2
duben	287,0	49,5	336,5
květen	402,5	0,0	402,5
červen	378,5	0,0	378,5
červenec	298,4	19,0	317,4
srpen	328,2	0,0	328,2
září	214,0	35,0	249,0

Po kompletním přesunu zařízení staveniště byly ražby ze severního portálu (Dýrafjörður) zahájeny 12. 10. 2018. Navzdory očekávání zde byly přítoky vody podstatně menší než na jižním portále. První dvě zastížené sedimentární vrstvy znamenaly jen mírné zdržení postupu. Třetí vrstva, až 5 m mocná, si vyžádala změnu jak v délce postupů, tak i ve vyztužení. Došlo ke zkrácení záběrů až na 2 metry a k instalaci výztužných rámu. Rámy spolu s hustějším osazením svorníků, s KARI sítí přes část profilu zakrý-



Obr. 6 Přítoky vody
Fig. 6 Water inflows

costs for project owners. However, this method can only be used in the hard rock types which predominate in Iceland. The basic aspect of the Drill&Blast lies in the use of primary support, i.e. rock bolts and sprayed concrete, alternatively with fibre reinforcement. The primary support is not separated from the final lining and forms one unit. The final support is usually formed by another layer of concrete and an addition of rock bolts into the defined grid. The design for the excavation support is carried out on the basis of the Q-system.

Tunnel excavation is usually carried out using blasting, exceptionally also by mechanical rock disintegration. Emulsion explosives are used for rock disintegration. The length of production boreholes corresponds to the maximum possible length of drill rods on 18' booms of the drilling rig, i.e. 5.2m.

The primary support of the tunnel excavation is carried out using rockbolts and shotcrete. Additional rockbolts and another additional layer of shotcrete serve as the final tunnel support. With a few exceptions, only bolts with a galvanised surface finish and epoxy coat at least 65, respectively 60–100 μm thick are used.

At the southern portal (Arnarfjörður) commenced by the first firing on 12 September 2017. In the initial months, the excavation was adversely affected by the geological situation with frequent inflows of water under pressure (see Fig. 6). The inflows caused problems during surveying of the tunnels and acted negatively even on electrical installations of machines. The inflows had therefore to be diverted by collecting pipes shotfired to the rock surface.

At the beginning of March 2018, geological conditions significantly improved and remained relatively favourable until the end of the tunnel excavation from the southern portal. Nevertheless, the several times encountered water inflows, faults and sedimentary interlayers (up to half a metre thick) did not significantly influence the excavation advance rates.

In the four months from March to September 2018, the excavated length of 300 tunnel metres per month was always exceeded as a minimum, with the best monthly advance rate achieved of 402.5 metres. In the particular profile, this rate is the best in the whole Iceland. During the same period, 80 excavated tunnel metres per week were reached or exceeded in seventeen weeks, the weekly advance rate of 100 metres was exceeded twice (Table 1).

vající vrstvu sedimentu a více než 20 cm mocnou vrstvou stříkaného betonu zajistily stabilitu výrubu. Po instalaci 25 rámu sediment počátkem ledna 2019 vymizel z profilu. Ražba pokračovala stabilním, rychlým tempem přes 80 m/týden do prorážky 12. 4. 2019.

Tab. 2 Měsíční výkony, portál Dýrafjörður, od ledna 2019

měsíc	tunel [m]	rozrážka [m]	celkem [m]
leden	313,8	0,0	313,8
únor	360,9	0,0	360,9
březen	371,0	18,5	389,5
duben	159,5	0,0	159,5

V pátém týdnu ražby roku 2019 bylo dosaženo nového rekordu – 111,0 vyražených metrů. V deseti týdnech došlo k překročení výkonu 80 tunelmetrů, v pěti z nich dokonce 90 tunelmetrů.

STROJNÍ SESTAVA A ÚDRŽBA STROJŮ

Vzhledem ke složité dopravní dostupnosti, zejména v zimě, závisí úspěšné provedení ražeb na kvalitní strojní sestavě, pečlivé údržbě, skladových zásobách a s nimi spojené logistice a kvalitních osádkách.

Strojní sestava pro ražby v těchto podmínkách byla pečlivě vybrána. Klíčové stroje jsou zdvojeny pro případ vážné poruchy:

- nový vrtací vůz Sandvik DT1131i a starší, záložní Sandvik DT1130-SC;
- stříkácí stroje Meyco Potenza;
- pásový bagr Hitachi Zaxis 210LC a Komatsu PC210.

Velký důraz byl kladený na údržbu mechanizace. Strojmistři byli proškoleni na nový vrtací vůz ve výrobním závodě ještě před zahájením prací. Pravidelné denní prohlídky strojů, včetně čištění vzduchových filtrů, byly kombinovány s týdenním mytím. Hala údržby byla velmi dobře vybavena a disponovala soustruhem, hydraulickým lisem, zvedákem na auta i přezouvačkou pneumatik. Na zařízení staveniště je k dispozici kontejner s lisem a hydraulickými hadicemi s různými koncovkami.

Beton – stříkaný i konstrukční – byl připravován zhotovitelem přímo na stavbě. Součástí zařízení staveniště byla nová betonárna Tecwill Cobra C40, vhodná do arktických podmínek, kompletně izolovaná stříkanou PUR izolací. Disponuje třemi silami na písek o celkovém objemu 90 m³. Pět sil na cement pojme 750 tun cementu se šestiprocentní přísadou křemíkového prášku (mikrosilika).

LOGISTIKA

Doprava osob a materiálu na stavbu hrála důležitou roli v úspěšném a rychlém provedení ražeb. Sklonové poměry tunelu



Obr. 7 Zasněžená Dynjandisheiði

Fig. 7 Dynjandisheiði road covered with snow

After complete shifting of the construction site facilities, the tunnel excavation from the northern portal (Dýrafjörður) started on 12 October 2018. Despite expectations, water inflows here were significantly lower than the inflows at the southern portal. The initially encountered two sedimentary layers meant only a moderate delay in the excavation advance. The third layer, up to 5m thick, required a change both in the lengths of advance rounds and in the excavation support. The length of excavation rounds was reduced up to 2 metres and supporting frames were installed. The frames together with reduced spacing of installed rockbolts, with KARI welded mesh covering a part of the cross-section with the sedimentary layer and an over 20cm thick layer of shotcrete secured the excavation stability. At the beginning of January 2019, after installation of 25 frames, the sediment disappeared from the cross-section. The tunnel excavation continued at a stable, fast rate over 80m per week until the breakthrough on 12 April 2019.

Table 1 Monthly excavation rates, Arnarfjörður portal, since March 2018

month	tunel [m]	stüb [m]	total [m]
March	387.2	0.0	387.2
April	287.0	49.5	336.5
May	402.5	0.0	402.5
June	378.5	0.0	378.5
July	298.4	19.0	317.4
August	328.2	0.0	328.2
September	214.0	35.0	249.0

Table 2 Monthly excavation rates, Dýrafjörður portal, since January 2019

month	tunel [m]	stüb [m]	total [m]
January	313.8	0.0	313.8
February	360.9	0.0	360.9
March	371.0	18.5	389.5
April	159.5	0.0	159.5

A new record – 111.0 metres excavated per week – was achieved in the fifth week of tunnelling in 2019. The rate of 80 tunnel metres was exceeded in ten weeks, whilst 90 tunnel metres were exceeded even in five weeks.

MECHANICAL EQUIPMENT SET AND MAINTENANCE OF MACHINES

With respect to the complicated transport accessibility, mainly in winter, the successful tunnel excavation depends on good quality of the mechanical equipment set, careful maintenance, the inventory and associated logistics, as well as good quality of crews.

The mechanical equipment set designed for tunnel excavation under these conditions was carefully selected. The key machines are duplicated in case of a serious breakdown:

- a new drilling rig Sandvik DT1131i and an older, stand-by Sandvik DT1130-SC;
- Meyco Potenza shotcrete machine;
- Hitachi Zaxis 210LC and Komatsu PC210 crawler excavators.

Great emphasis was placed on the maintenance of mechanical equipment. Machine operators were trained for the new drilling rig in the production plant before the work commenced. Regular daily machine inspections, including cleaning air filters, were combined with weekly washing. The maintenance shed was very well equipped and had a lathe, a hydraulic press, a vehicle jack and tyre switching gear available. A container with a press and hydraulic hoses with various ends are available at the construction site arrangement.

Concrete – both sprayed and structural – was prepared by the

předpokládaly ražby přibližně 2/3 délky tunelu z jižního portálu Arnarfjörður a zbytek ze severního portálu Dýrafjörður. Jižní portál leží v odlehlém fjordu, kde mimo obsluhu vodní elektrárny Mjolká nežijí žádní lidé. V zimním období obě přístupové cesty (z jihu silnice č. 60 Dynjandisheiði a ze severu silnice č. 60 Hrafnseyrarsheiði) zapadají sněhem (obr. 7). V obou případech se jedná o starou štěrkovou silnici bez asfaltového povrchu. Údržba Hrafnseyrarsheiði je přitom vzhledem k mase navátého sněhu a lavinovému nebezpečí nemožná. Podle plánu byla pravidelně, přibližně každé čtyři týdny, na několik dnů otevřena Dynjandisheiði. Další možností je doprava lodí, která je kvůli malému molu a nízké hloubce omezena na loďku o délce 7 metrů s kapacitou 3–4 osoby.

DOPRAVA MATERIÁLU

Pro ražby z jižního portálu Arnarfjörður byly investorem vyžadovány skladové zásoby hlavních materiálů na alespoň šest týdnů. Toto množství mělo být dostatečné pro případ špatného počasí a odloženého otevření Dynjandisheiði. Výběr vhodného data začínal přibližně po třech týdnech analýzou předpovědi počasí a konzultacemi s partnerem ve sdružení a investorem. Cílem bylo vybrat takové období, které zaručovalo přijatelné počasí alespoň po tři dny. V tomto okně musely být na stavbu dopraveny materiály, které nebylo možno naskladnit na celou zimu (cement, emulze, rozbušky, počinové nálože atd.). Otevření přístupové cesty a následnou krátkou údržbu měl na starosti investor. Odklizení sněhu probíhalo pomocí sněžné frézy na kolovém nakladači a grejdru. Práce obvykle začínaly v brzkých ranních hodinách z jihu, od hotelu Flókalundur. Zde již čekaly návěsy s emulzí a kontejnery. Frézování trvalo několik hodin. Dopravený materiál byl okamžitě přecherpan či složen a auta se vracela do Reykjavíku, vzdáleného přibližně 500 km, pro další náklad. Kvůli kapacitám dodavatele cementu bylo možno dopravit maximálně 90 tun denně, tj. tři cisternové návěsy.

Tab. 3 Data uzavření Dynjandisheiði

datum otevření	doba uzavření (dny)	pozn.
02-01-2018		pro osobní dopravu
25-01-2018	23	
27-02-2018	33	
20-03-2018	21	
05-04-2018	16	finální otevření

Z tab. 3 vyplývá, že Dynjandisheiði byla celkem uzavřena pro jakoukoliv dopravu po dobu 93 dnů. Ani finální otevření ale neznamenalo plnou dostupnost zařízení staveniště pro nákladní dopravu. V důsledku vyšších teplot tál nahromaděný sníh a na podmáčené cestě byly vyhlášeny váhové limity 5–10 tun na nápravu. Tento stav přetrvával přibližně do poloviny května.

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Již před prorážkou, na podzim 2018, bylo provedeno definitivní vyztužení pravého boku u části tunelu vyražené z jižního portálu. To umožnilo provádění následných operací, které by jinak musely být realizovány až po prorážce.

Na základě pokynů investora byly boky strojně oškrábány, osazeny kotvami SN délky 3 m a většinou přestříkány 60 mm drátko-betonu. Zbytek definitivního ostění byl dokončen po prorážce. Tyto práce zabraly přibližně 2,5 měsíce.

contractor directly in situ. A new concrete batching plant Tecwill Cobra C40 suitable for arctic conditions, completely insulated by sprayed PUR foam, was part of the site arrangement. It has three silos for sand with the total volume of 90m³ in disposal. Five cement silos hold 750 tonnes of cement with addition of six percent of silicon powder (microsilica).

LOGISTICS

Transport of persons and materials to the site played an important role in the successful and fast tunnel excavation. Tunnel slope conditions assumed the excavation of approximately 2/3 of the tunnel length from the southern portal, Arnarfjörður, and the remaining part was excavated from the northern portal, Dýrafjörður. The southern portal is located in a remote fjord, where, with the exception of operators of the Mjolká hydropower plant, no people live. In winter, both access roads (road No. 60, Dynjandisheiði, from the south and road No. 60, Hrafnseyrarsheiði, from the north) are covered with snow (see Fig. 7). In both cases the roads are old, covered with gravel without asphalt surface. The winter maintenance of the Hrafnseyrarsheiði road is impossible with respect to drifts of snow and danger of avalanches. The Dynjandisheiði road was open according to the plan, the Dynjandisheiði road was regularly, approximately every four weeks, opened for several days. Shipping provides the other possibility. However, the pier is small and the depth is small, the length of ships is restricted to 7 metres and the ship capacity is limited to 3–4 persons.

TRANSPORT OF MATERIALS

The store stock of main materials at least for 6 weeks is required by the project owner for the tunnel excavation from the southern portal, Arnarfjörður. This amount should be sufficient in case of adverse weather and postponed opening of the Dynjandisheiði road. Selection of the appropriate date started approximately after three weeks by analysing the weather forecast and consulting with the consortium partner and the project owner. The objective was to select such a period which guaranteed acceptable weather at least for three days. During this window, materials which were not easy to put into the storage for the whole winter (cement, emulsion, detonators, primers etc.) had to be transported to the construction site. Opening of the access road and subsequent short maintenance was a task for the project owner. Snow was cleared by a snow thrower on a wheeled loader and a grader. Work usually started early morning from the south, from Flókalundur hotel. Semi-trailers with emulsion and containers were already waiting there. Removing snow took usually several hours. The transported material was immediately overpumped or unloaded and the vehicles returned to about 500km distant Reykjavik for another load. Due to the capabilities of the cement supplier, only a maximum of 90 tonnes could be transported a day, i.e. three tank semi-trailers.

Table 3 Dynjandisheiði road closure dates

date	closure duration (days)	note
02-01-2018		for passenger traffic
25-01-2018	23	
27-02-2018	33	
20-03-2018	21	
05-04-2018	16	final opening

It follows from Table 3 that the Dynjandisheiði road was closed for any traffic for the total of 93 days. But even the final opening did not mean full accessibility of the construction site for freight traffic. The accumulated snow melted due to higher temperatures

IZOLACE PROTI VODĚ A MRAZU

Islandský investor, kvůli nízké hustotě osídlení a dopravy, přizpůsobuje norský systém izolací islandským podmínkám. Nedočká tak k izolaci kompletní délky tunelu, ale jen k izolaci vybraných úseků.

Specifikace tunelu Dýrafjörður počítaly s několika typy izolací:

1. izolace plného profilu polyetylenovou pěnou;
2. částečná izolace deskami z polyetylenové pěny;
3. částečná izolace polyetylenovou fólií s pevně danou šířkou (s výměrou do 20 m²).

Typy 1 a 2 jsou zavěšeny na svornících, zatímco typ 3 je islandská specialita – membrána je uchycená k ostění nastřelením.

Již před prorážkou začal stavební dozor blíže monitorovat a vybírat místa, která budou zakryta izolací. Tento proces vrcholil nedlouho po prorážce, kdy bylo třeba kvůli napjatému harmonogramu zahájit práce na izolacích.

Prvním krokem bylo značení míst osazení svorníků, kdy na předepsaná místa vyznačil geodet stavby křížky v rastru cca 1,375×1,2 m. U plného profilu šlo o 15 kusů, s osmým svorníkem jako centrálním. Centrální svorník měl pevně danou polohu vzhledem k pozdějšímu využití pro uchycení kabelového žebříku. Při vyznačování byla zároveň zaznamenána přesná poloha a vypočtena délka každého svorníku. Celkem bylo vyznačeno přes 33 tisíc svorníků.

Označená místa byla následně vyvrtána za použití nástavbové vrtačky AB1000 se vzduchovým výplachem firmy Wimmer Felstechnik GmbH. Jednotka byla osazena na pásovém bagru Komatsu PC210. Sestava byla vybavena odsavačem prachu WDC450 stejného výrobce. Odsavač radikálně omezil prašnost při vrtání. Zásobování vzduchem zajišťoval kompresor Kaeser M45. Předepsaná hloubka vrtů činila 500 mm. Vzhledem k průměru lepicích ampulí byla použita vrtací dláta průměru 26 mm a délky 1 200 mm.

Použité svorníky byly vyrobeny z betonářské výztuže o kvalitě B500NC a průměru 16 mm s 300 mm dlouhým závitem na jedné straně. Povrchová ochrana se skládala ze dvou vrstev, zároveň pozinkované spodní a epoxidové svrchní. Vzhledem k nepravidelnosti ostění byla délka svorníků značně variabilní, od 800 do 2 000 mm.

Všechny svorníky byly do ostění uchyceny lepením za použití dvousložkových polyesterových lepicích ampulí Lokset průměru 23 mm a délky 250 mm. Promíchání složek bylo dosaženo rotačním zaváděním svorníků pomocí rázové utahovačky Makita TW0350.

Svorníky delší než 1 m od ostění byly dodatečně vyztuženy diagonálním táhlem uchyceným lanovými svorkami.

Instalace izolací

Typ 1 – Izolace plného profilu polyetylenovou pěnou (PE foam)

Při portálech a u více zvodnělých úseků se izoloval celý profil. Specifikace předpokládaly instalaci desek na sraz. Předepsaná pěna o tloušťce 45 mm byla dodávána na námořních kontejnerech (flatrack) v délce odpovídající obvodu = 18,1 m. Tím se zhotovitel vyhnul horizontálním překryvům. Bezpečnostní záclony bylo nutno izolovat jiným systémem – na překryv. Jednostranné rozšíření jiným způsobem neumožňovalo.

Na úseky delší než 25 m bylo nutno nainstalovat dilatační pásy. Plastový L profil o výšce 1 cm, nižší než finální tloušťka betonu, se plastovými šrouby upevnil po celé délce profilu.

Celková čistá výměra izolace polyetylenovou pěnou dosáhla 48 600 m² na 68 úsecích.

Druhou část instalace tvořilo vyztužení desek KARI sítí. Závěšovalo se 25 mm od vnitřní strany. Správnou vzdálenost zajiš-

and axle weight limits of 5–10 tonnes were prescribed. This condition lasted approximately until mid-May.

FINAL LINING

The final support of the right-side of the part excavated from the southern portal was installed already before the breakthrough, in autumn 2018. It allowed for execution of subsequent operations which would otherwise have to be carried out after the breakthrough.

Based on instructions of the project owner, the sides were manually scaled, 3m long SN anchors were installed and mostly covered with a 60mm thick layer of steel fibre reinforced shotcrete. The remaining part of the final lining was finished after the breakthrough. These operations took approximately 2.5 months.

WATERPROOFING AND FROSTPROOFING

With respect to the low population and traffic density, the Icelandic project owner adapts the Norwegian system of insulations to Icelandic conditions. In this way the insulation is not provided for complete length of the tunnel and only selected sections are insulated.

Specifications for the Dýrafjörður tunnel counted on several insulation types:

1. insulation of the full profile with polyurethane foam;
2. partial insulation with polyethylene foam sheets;
3. partial insulation with a polyethylene membrane with firmly given width (area up to 20m²).

Types 1 and 2 are suspended on rock bolts, while type 3 is an Icelandic specialty – the membrane is fixed to the lining by shotfiring.

Even before the breakthrough, the supervising engineer started to monitor more closely locations to be covered with insulation and select them. This process culminated shortly after the breakthrough, when it was necessary due to the tight schedule to commence the work on the insulations.

The first step lied in marking the points for installation of rockbolts. The construction surveyor marked them with crosses at a ca 1.375×1.2m grid. In the full profile, there were 15 rockbolts, with the eighth rockbolt as the central piece. The position of the central rockbolt was fixed with respect to the subsequent using them for attaching a cable ladder. The exact position and length of each rockbolt was at the same time marked and calculated when the marking was being conducted. Over 33,000 rockbolts were marked in total.

Holes were subsequently drilled in the marked points using AB1000 drilling cassette with air flushing system supplied by Wimmer Felstechnik GmbH. The unit was installed on Komatsu PC210 crawler excavator. The set was equipped with WDC450 dust extractor provided by the same manufacturer. The extractor radically reduced dust emission during drilling. Air was supplied by a Kaeser M45 compressor. The depth of 500mm was prescribed for the drillholes. With respect to the diameter of the resin capsules, 1200mm long, 26mm in diameter, drilling cutters were used.

The rockbolts which were used were made from B500NC concrete reinforcement steel bars 16mm in diameter with 300mm long thread on one side. The surface protection consisted of two layers, the lower hot dip galvanised with zinc and an epoxy layer on the surface. With respect to irregularities in the lining, the length of the rockbolts was significantly variable, from 800 to 2000mm.

All rockbolts were fixed in the lining by adhesives using Lokset two-component polyester gluing capsules 23mm in diameter and 250mm long. Blending of the components was achieved by rotary insertion of the rockbolts using Makita TW0350 impact wrench.

Rockbolts reaching deeper than 1m from the lining were additionally reinforced by a diagonal tie rod connected by cable clamps.



Obr. 8 Aplikace stříkaného betonu na KARI síť
Fig. 8 Application of shotcrete on KARI welded mesh

tovaly na svornících speciální plastová kola o průměru 300 mm a v prostoru mezi svorníky speciální distančníky, které se do pěny šroubovaly. Síť svařené z 5mm drátu, s oky 150×150 mm a celkovým rozměrem 2×5 m, umožnily díky nízké hmotnosti snadnou instalaci (obr. 8).

Typ 2 – Částečná izolace deskami polyetylenové pěny

Tento typ byl použit k pokrytí míst s průsaky omezeného rozsahu o maximální délce půl profilu (cca 9,5 m). Na tomto projektu byly použity desky o rozměrech 11,5×2,75 m o tloušťce 45 mm. Tato délka byla vybrána kvůli plnému využití kapacity přepravních kontejnerů.

Nízká výměra tohoto typu izolací neumožnila instalaci v poloze blízké finálnímu profilu, ale v podstatě kopírovala povrch výrubu. Pevně daná šířka desek kladla zvýšené požadavky na přesnost instalace kotev, na vyrovnání případných nepřesností tak nezbyvalo mnoho prostoru.

Instalace probíhala napíchnutím na předinstalované svorníky, předem osazené zadními podložkami. Ty sloužily jako doraz a jejich polohu bylo možné nastavit matkou na závit svorníku. Zejména u oblastí s výškou blížící se polovině profilu bylo nutno pečlivě kontrolovat počáteční ustavení, aby se vyšší svorníky nedostaly mimo desku. U úseků delších než 2,75 m bylo napojení desek řešeno překryvem na kotvě, který musel být alespoň 30 cm široký.

Z přední strany byly desky vertikálně vyztuženy zpevňujícími pásy, uchycenými ke svorníkům přes profilovanou přední podložku a matku M16. Tyto pásy, vyrobené z 10mm betonářské výztuže, se v případě potřeby přihýbaly. Konce svorníků byly za matkou odříznuty. Nepřiléhající okraje desek byly uchyceny pomocí plastových šroubů.

Pokud tento typ izolace navazoval na plný profil, byl také vyztužen KARI sítí.

Veškeré materiály (kromě plastových) měly stejnou povrchovou úpravu jako svorníky, tj. zároveň pozinkovanou spodní a epoxidovou svrchní vrstvu.

Celková plocha tohoto typu izolací činila přibližně 8 000 m² na 160 úsecích.

Typ 3 – Částečná izolace PE membránou s pevně danou šířkou (s výměrou do 20 m²)

Poslední typ izolací reprezentovala nastřelovaná PE membrána o dané šířce (1,5 m). Předepsaná membrána, vyrobená z lineární-

Installation of insulations

Type 1 – Insulation of full profile with polyethylene foam (PE foam)

The whole profile was insulated at the portals and in more water saturated sections. The specifications assumed straight joints between the plates. The prescribed 45mm thick foam plates were supplied in sea containers (Flatrack) at the length corresponding to the circumference – 18.1m. In this way the contractor avoided horizontal overlapping. The safety lay-bys required another system of the insulation – overlapping. The single-sided enlargement of the width did not allow for another system.

Sections longer than 25m had to be provided with expansion joints. The plastic L profile, 1cm lower than the final thickness of concrete, was fixed with plastic bolts throughout the profile length. The total area of the insulation with polyethylene foam reached 48,600m²

on 68 sections.

The second part of the insulation was formed by reinforcement of the plates with KARI welded mesh. It was suspended 25mm from the internal surface. The correct distance was secured on the rockbolts by special 300mm-diameter plastic roundels and special distance spacers bolt-fixed to the foam. The mesh welded from 5mm-diameter rods, with 150×150mm meshes and overall dimension of mats of 2×5m allowed easy installation owing to the low weight (see Fig. 8).

Type 2 – Partial insulation with polyethylene foam plates

This type was used to cover locations with limited extent of seepage with the maximum length of a half of the profile (ca 9.5m). Sheets with the dimensions of 11.5×2.75m, 45mm thick were used on this project. This length was chosen to allow full use of the capacity of freight containers.

The small area of this insulation types did not allow for installation in the position close to the final profile, but in substance, it allowed for copying the excavated opening surface. The firmly given width of the plates placed increased demands on accuracy of installation of anchors and, for that reason, not too much space remained for levelling out possible inaccuracies.

The installation was carried out by impaling on pre-installed rockbolts with back washers installed on them in an advance. They provided a stop and their position could be set by a nut on the rockbolt thread. Thorough checking on the initial setting so that higher rockbolts did not get outside the plate was necessary first of all in areas approximating the middle of the profile. The connection of the plates in sections longer than 2.75m was solved by an overlap on the anchors, which had to be at least 30cm wide.

From the front side, the plates were vertically reinforced by reinforcing bands fixed to the rockbolts through a ribbed front washer and an M16 nut. The bands were made from 10mm-diameter concrete reinforcement bars. They were bent if necessary. The ends of the rockbolts were cut away behind the nut. Loose edges of the plates were fixed by plastic nuts.

When this insulation type connects the full profile, it was also reinforced with KARI welded mesh.

The surface finish of all materials (with the exception of plastic materials) was identical with the finish of the rockbolts, i.e. hot dip galvanised with a lower zinc layer and the upper epoxy layer on the surface.

The total area of this insulation type amounted approximately 8000m² on 160 sections.

ho nízkohustotního polyetylenu o tloušťce 1,5 mm s bílou signální vrstvou, měla zdrsňený povrch kvůli lepší přilnavosti stříkaného betonu. K ostění byla uchycena nastřelovacími hřeby, přes perforovaný pásek široký 20 mm, nábojkovou nastřelovací pistolí Spitfire P390. Zakrývala zavlhlá místa o malé šířce.

Použití tohoto typu přineslo v realizaci několik problémů. Jednalo se o možné utržení membrány od ostění během nástřiku SB. U míst s výškou přesahující přibližně 5 m to muselo být řešeno dodatečným vyztužením KARI sítí. Vzhledem k nepravidelnému nástřiku ostění ze SB mohlo docházet k průsakům vody přes okraje membrány.

Opravy izolací

V průběhu instalace mohlo dojít k poškození izolace. Malá poškození PE pěny bylo možné vyplnit silikonem. U velkých trhlin se musela vyměnit alespoň část desky.

Více zvodnělá místa bylo vhodné před samotnou instalací pěny ochránit přidanou membránou (shielding).

Stříkaný beton

Jako protipožární ochrana izolací sloužila vrstva stříkaného betonu tloušťky 8 cm u typu 1 a 2 a vrstva stříkaného betonu tloušťky 6 cm u typu 3. Beton třídy C30/37 XC3, XD1, XS1 stříkaný na izolaci vyztuženou KARI sítí obsahoval 2 kg mikropolyetylenových vláken na 1 m³. U nevyztužených izolací se do prvních vrstvy (4 cm silné) přidávalo až 5 kg makropolypropylenových vláken na 1 m³.

Při stříkání bylo nutno ochránit dříve položené drenážní roury. K tomuto bylo použito rozřezané lntnové potrubí využívané dříve při větrání čeleb.

Aplikace stříkaného betonu byla prováděna stříkacím strojem Meyco Potenza napájeným elektrocentrálou Olympian GEP200-4 (obr. 8). Celkem bylo instalováno přes 5 880 m³ stříkaného betonu.

ZÁVĚR

Projekt Dýrafjarðargöng je jedinečný. Ještě žádný tunel na Islandu se nerazil z tak nepřístupného místa. Úplné odříznutí jižního portálu po dlouhá období v zimě 2017/2018 bylo náročné nejen na plánování, koordinaci, množství zásob a logistiku, ale i na psychiku všech zúčastněných pracovníků. Ražby ze severního portálu byly v tomto směru jednodušší.

Zima 2019/2020 pak byla extrémní. Byla to srážkově nejvydatnější zima od roku 1995, což přineslo nevídané množství sněhu. Často zapadané a zafoukané přístupové cesty přinášely problémy s nástupem osádek na pracoviště i návraty do ubytovny.

Epidemie Covid-19 pak znamenala úplnou demobilizaci dělnických profesí zpět do České republiky a na Slovensko kvůli zavírání hranic. Přesto byly práce Metrostavem a.s. na projektu dokončeny včas také díky vydatné pomoci místních subdodavatelů při dokončovacích pracích.

*Ing. JOSEF MALKNECHT,
josef.malknecht@metrostav.cz,
Metrostav a.s.*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Pavel Polák

Type 3 – Partial insulation with PE membrane with firmly given width (area up to 20m²)

The last insulation type was represented by shotfired PE membrane with a given width (1.5m). The surface of the prescribed 1.5mm thick membrane made of linear low-density polyethylene membrane with a white signal layer was roughened to improve adhesion to shotcrete. It was fixed to the lining by cartridge nails through a 20mm wide perforated band using Spitfire P390 cartridge hammer. It covered moist places with small width.

The use of this type brought several problems in the installation. They lied in the possibility of tearing the membrane from the lining during the course of application of shotcrete. Places with the height exceeding approximately 5m had to be solved by additional reinforcement with KARI welded mesh. Water seepage through the membrane edges could occur with respect to the irregular surface of shotcrete.

Insulation repairs

Damage could be caused to the insulation during the course of the installation. Minor damage to the PE foam could be filled with silicon. In the cases of significant cracks at least a part of the plate had to be replaced.

It was appropriate to protect more water-saturated places by a membrane added prior to the installation of the foam (shielding).

Shotcrete

A layer of shotcrete 8cm thick for types 1 and 2 and 6cm thick for type 3 was used for fire protection of the insulation. The C30/37 XC3, XD1, XS1 grade concrete sprayed on the insulation reinforced with KARI welded mesh contained 2kg of micropolyethylene fibres per 1m³. In the case of unreinforced insulation, up to 5kg of macropolyethylene fibres per 1m³ were added into the first layer (4cm thick).

Previously laid drainage pipes had to be protected when concrete was being sprayed. Previously used ventilation ducts cut to pieces were used for this purpose.

Shotcrete was applied using Meyco Potenza shotcrete machine powered by Olympian GEP200-4 generator (see Fig. 8). Over 5880m³ of shotcrete were installed.

CONCLUSION

The Dýrafjarðargöng project is unique. No tunnel in Iceland had yet been excavated from such an inaccessible location. The complete cut-off of the southern portal for long periods in winter 2017/2018 was demanding not only in terms of planning, coordination, amount of stocks and logistics, but also in terms of the psyche of all participants. In this respect, the tunnel excavation from the northern portal was simpler.

The next winter 2019/2020 was extreme. Precipitation was most abundant since 1995, with unprecedented amounts of snow. The access roads often covered with falling snow and snow drifts on them brought problems for the crews to get to the workplace and return to the lodging house.

The Covid 19 epidemic then meant complete demobilisation of workers' professions back to the Czech Republic and Slovakia with respect to closing borders. Nevertheless, Metrostav's work on the project was completed on time, also owing to generous help of local sub-contractors hired for finishing work.

*Ing. JOSEF MALKNECHT,
josef.malknecht@metrostav.cz, Metrostav a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] LOFTSSON, M. a kol. *Dýrafjarðargöng*. Reykjavík: Mannvit 11/2016
- [2] MALKNECHT, J. *TUNEL DÝRAFJARÐARGÖNG, ISLAND*. Podzemní stavby Praha 2019