VÝSTAVBA PODZEMNEJ VODNEJ ELEKTRÁRNE ILULISSAT – GRÓNSKO
DEVELOPMENT OF ILULISSAT HYDROPPOWER STATION – GREENLAND

IGOR HARACH

ABSTRAKT

Výstavba podzemnej vodnej elektrárne Ilulissat v Grónsku bola začatá v roku 2009 a ukončená v roku 2014. Nachádza sa na západe Grónska v arktickom pásme, 200 km severne od polárneho kruhu. Výkon elektrárne je 22,5 MW a od 31. 10. 2012 zásobuje elektrickou energiou mesto Ilulissat, ktoré doposiaľ využívalo na výrobu elektrickej energie fosílne palivá. Elektráreň využíva vodu z dvoch jazier (Paakitsup a Akuliarusersua), ktoré vznikli z topiacich sa ľadovcov. Od mesta Ilulissat je vzdialená 60 kilometrov. Prenos elektrickej energie zabezpečuje nadzemné aj podzemné vedenie vysokého napätia. Podzemná elektráreň, privádzacie a odtokové tunely sú umiestnené v trvalo zamrznutej hornine. Geologicky dominuje v danej oblasti predkambrická rula. Razenie sa vykonávalo vrtno-trhacími prácami, pomocou Nórskej tunelovacej metódy. Technicky najnáročnejšou časťou prác bolo razenie komory strojovne, ktorá je vysoká 23,4 m, dlhá 34,8 m a široká 13,6 m. Jedným z faktorov, ktoré ovplyvňovali priebeh výstavby podzemnej vodnej elektrárne, boli náročné klimatické podmienky a zároveň aj ťažko dostupná geografická poloha stavby.

ABSTRACT

The development of the Ilulissat hydropower station in Greenland commenced and was completed in 2009 and 2014, respectively. It is located in the west of Greenland, in the Artic zone, 200km north of the Arctic Circle. The power plant output amounts to 22.5MW. It supplies the town of Ilujissa, which till the facility commissioning used fossil fuels for power generation, with electric power since 31st October 2012. The power plant uses water from two lakes (Paakitsup and Akuliarusersua), which originated from melting glaciers. Its distance from Ilulissat is 60 kilometres. The transition of electric energy is secured both by overhead and underground high-voltage lines. The underground power plant, headrace and tailrace tunnels are found in permanently frozen ground. Regarding geology, Pre-Cambrian gneiss dominated in the particular region. The Norwegian Tunnelling Method is applied, using the drill-and-blast technique. The technically most complicated part of the works was the excavation of the powerhouse, which is 23.4m high, 34.8m long and 136m wide. Among the factors which influenced the course of the construction of the underground hydropower station there were demanding climatic conditions and the difficult-to-assess location.

ÚVOD

Grónsko (obr. 1) je najväčší ostrov na svete s rozlohou 2 175 600 km^2. Len 15 percent územia, približne o veľkosti Britských ostrovov, je trvale bez ľadu. Zvyšok územia pokrýva ľad dosahujúci miestami hrúbku až 3000 m. Tento ľadovec, pokrývajúci približne 1,8 mil. km^2, je po Antarktickom ľadovci druhý najväčší na svete. Na ostrove žije len 56 000 ľudí, z toho 48 000 Inuitov. Úradným jazykom je grónčina.

Pre pokrytie vlastnej spotreby elektrickej energie, čo predstavuje cca 232 mil. kWh, využíva Grónsko fosílne palivá a vodné zdroje, a to v pomere 59 % nafta a 41 % vodné zdroje.

Prvá vodná elektráreň bola postavená v Grónsku v roku 1993 neďaleko fjordu Bukse, južne od hlavného mesta Nuuk. Menovitý výkon elektrárne je 30 MW, pričom energia je dodávaná vysokonapäťovým vedením cez dva fjordy. Cez fjord Ameralik má toto líniové vedenie najväčšie rozpätie medzi dvoma stožiarmi (až 5376 m).

Po vodnej elektrárni v Qorlortosuaqu, ktorá má výkon 7,5 MW (v prevádzke je od roku 2006) a v Sisimiute s výkonom 15 MW (v prevádzke je od roku 2009), je vodná elektráreň Ilulissat tretím projektom grónskej energetickej spoločnosti Verkís.

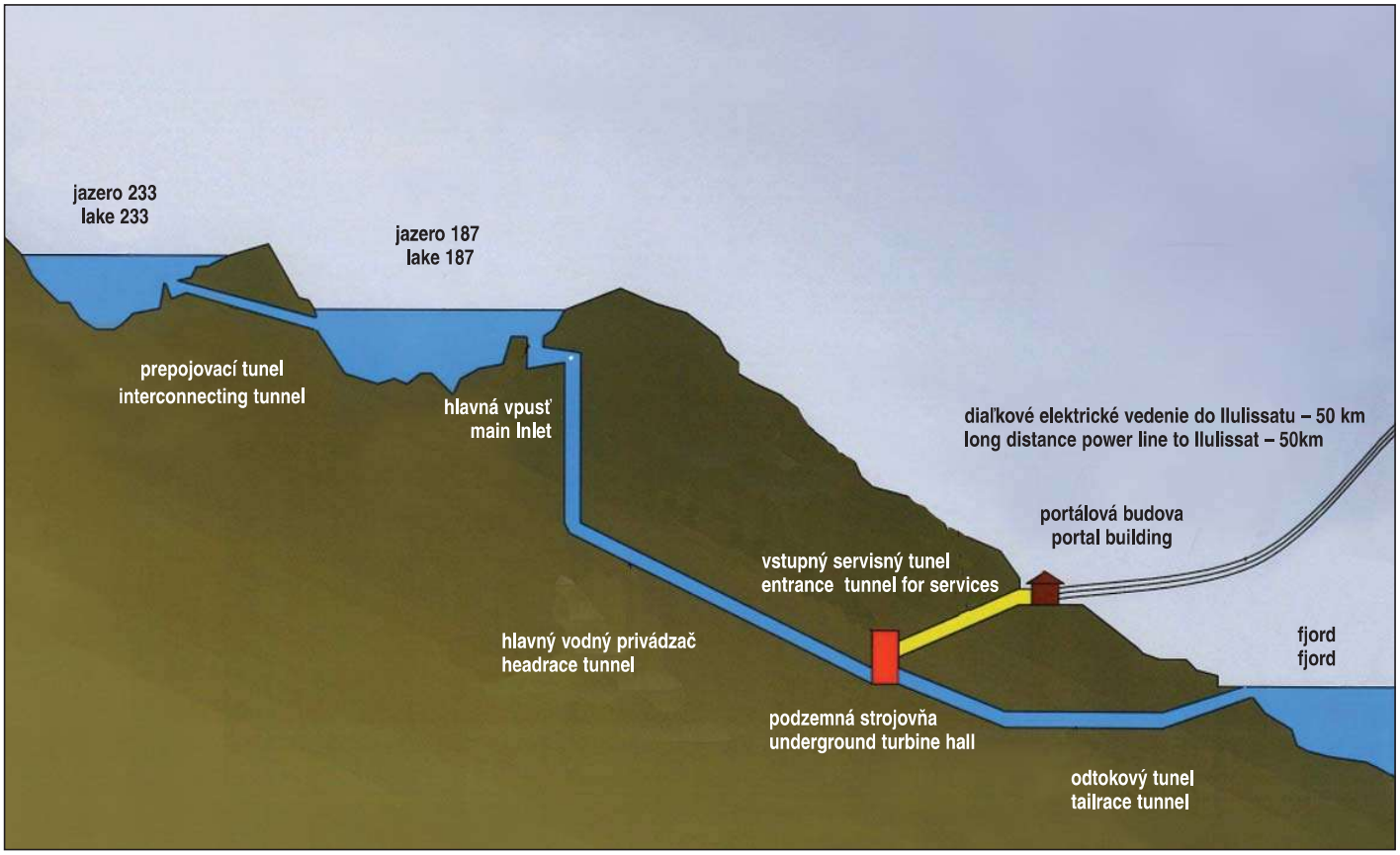
CHARAKTERISTIKA A ZÁKLADNÉ ÚDAJE STAVBY

Vodná elektráreň Ilulissat leží na západe Grónska v arktickom pásme, 200 km na sever od polárneho kruhu, na 69. stupni severnej šírky (obr. 2).

INTRODUCTION

Greenland with its area of 2,175,600km^2 is the largest island in the world (see Fig. 1). Only 15% of the area, roughly equal to the size of British Islands, are permanently unglaciated. The remaining part is covered with ice. Its thickness locally reaches up to 3000m. This glacier, covering roughly 1.8 million km^2, is the second largest in the world after the Antarctic glacier. The island is inhabited by a mere 56,000 people; out of this number, there are 48,000 Inuits there. Greenlandic is the official language there.

Obr. 1 Mapa Grónska
Fig. 1 Greenland map



Obr. 2 Schematický rez vodnou elektrárňou v Paakitsoq
Fig. 2 Schematic section through the hydropower station in Paakitsoq

Elektráreň má inštalovaný výkon 22,5 MW. Elektrickou energiou, ktorú vyrobí pomocou troch 7,5 MW Francisových turbín, zásobuje mesto Ilulissat (obr. 3), kde žije 4500 obyvateľov. Zariadenie nahradilo doterajšie naftové generátory, takže mesto už nezávisí od dodávok pohonných hmôt na výrobu elektriny.

Vodná elektráreň je vzdialená 60 kilometrov severovýchodne od Ilulissatu v lokalite Disko Bay – Paakitsoq (obr. 4). Využíva vodu dvoch jazier Paakitsup a Akuliarusersua pochádzajúcu z topiacich sa ľadovcov. Podzemná elektráreň, privádzacie a odtokové tunely sú umiestnené v trvalo zamrznutej hornine. Elektrickú energiu do mesta Ilulissat prenáša 50kilometrové nadzemné aj podzemné vedenie vysokého napätia.

Podzemné objekty tvoria (obr. 2):

- odtokový tunel – 1873 m;
- vstupný servisný tunel – 646 m;
- podzemná strojovňa – 6846 m^3;
- hlavný vodný privádzač – 1470 m;
- hlavná vpusť – 593 m;
- prepojovací tunel medzi jazerami 233 a 187 – 1510 m;
- celková dĺžka tunelov – 6093 m.

GEOLOGICKÁ STAVBA

Geologicky dominuje v danej oblasti predkambrická rula. Hornina je relatívne hrubozrnná, extrémne tvrdá a masívna. Kremeň je vrásovite usadený do max. hrúbky 0,5 m a biotit tvaruje malé zlomové plochy v rule. Zvýšený horninový tlak v niektorých častiach horninoveho masívu spôsoboval problémy pri razení tunela. Problémové zóny sa vyskytovali sporadicky v oblasti, ktorá obsahovala zlomy.

Greenland uses fossil fuels to cover its own power consumption, amounting to ca 232 million kWh (54% oil and 41% water resources).

The first hydropower scheme was developed in Greenland in 1993, near Bukse fjord, south of the capital, Nuuk. The nominal output of the power plant is 30MW and the power is supplied through high-tension lines across two fjords. The largest span between two electricity pylons of up to 5376m is across Ameralik fjord.

The Ilulissat hydropower plant is the third project realised by Greenland-based power generation company Verkís, after the 7.5MW Qorlortosuaqu hydropower scheme (operating since 2006) and the 15MW Sisimiute plant (operating since 2009).

CONSTRUCTION CHARACTERISTICS AND BASIC DATA

The Ilulissat hydropower scheme is located in the west of Greenland, 200km north of the Arctic Circle; it is situated on the 69th degree of north latitude (see Fig. 2).

The installed capacity of the power plant is 22.5MW. It supplies the town of Iluissat (see Fig. 3), the population of which reaches 4500, with electric power generated by means of three 7.5MW Francis turbines. The facility has replaced the until then used oil generators, which means that the town no more depends on supplies of fuels required for the power generation.

The hydroelectric generating station is located at the distance of 60 kilometres north-east from Ilulissat, in the Disko Bay – Paakitsoq location (see Fig. 4). It uses water from two lakes, Paakitsup and Akuliarusersua, originating

Obr. 3 Mesto Ilulissat
Fig. 3 The town of Ilulissat

TECHNOLÓGIA, TECHNICKÉ PODMIENKY A VÝKONY NA STAVBE

Razenie sa vykonávalo vrtno-trhacími prácami, pomocou Nórskej tunelovacej metódy (NTM). S NRTM – Novou rakúskou tunelovacou metódou – má mnoho spoločného, avšak v skutočnosti sa od nej principiálne líši. Rozdiel spočíva v hodnotení geológie (Q-systém), v spôsobe vystužovania vyrazeného diela a v spôsobe izolácie diela proti priesakom vody.

Vybavenie pre zaistenie výlomu:

- striekaná betónová zmes s oceľovými alebo plastickými vláknami;
- skalné kotvy CT, SN dl. 2–4 m.

Vo všetkých častiach tunelov sa používali tepelne izolované, vyhrievané, plastové vodovodné rúry s priemerom 63 mm, 75 mm a 110 mm.

Samotné razenie pozostávalo z navŕtania vývrtov s priemerom vrtnej korunky 48–51 mm v dĺžke do 4 m. Vŕtanie pomocou poloautomatického systému TML umožňovalo presné vŕtanie profilov podľa vopred pripravenej vrtnej schémy pre všetky razené objekty stavby. Tým sa minimalizovali nežiaduce nadvýlomy a systém umožňoval aj spätnú kontrolu obsluhy vrtného stroja. Na rozpojovanie horniny sa používala sypká trhavina DAP, ktorá sa miešala v pomere 3,5 l nafty ku 50 kg dusičnanu amonného a pomocou nabíjacieho voza sa následne zafúkavala do vývrtov. V úsekoch s prítokmi vody sa používala plastická trhavina typu Eurodyn Magnasplit s rozbuškami Nonel, iniciovanými pomocou zápalnice na mieste odpalu. V obrysových vývrtoch sa používala 80g bleskovica. Prevažná časť tunelových objektov bola razená v triede výlomu I. a II, kde sa zaistenie výlomu vykonávalo sporadicky v súlade s projektovou dokumentáciou

from melting glaciers. The underground power plant and the headrace and tailrace tunnels are found in permanently frozen ground. Electric power is transmitted to Illulisat through 50km long underground and overhead high-tension lines.

There are the following underground structures there (see Fig. 2):

- the tailrace tunel – 1873m;
- the access tunnel – 646m;
- the underground powerhouse – 6846m^3;
- the headrace tunnel – 1470m;
- the intake 187 tunnel – 593m;
- the tunnel interconnecting the lakes 233 and 187–1510m;
- the aggregated length of the tunnels – 6093m.

GEOLOGICAL STRUCTURE

Regarding geology, Pre-Cambrian gneiss dominates in the particular region. The rock is relatively coarse-grained, extremely hard and massive. Quartz accumulates in bands up to 0.5m thick and biotite forms small fault surfaces in gneiss. The increased ground pressure caused problems during the tunnel excavation in some parts of the ground massif. Problematic zones were sporadically encountered in the area containing faults.

TECHNOLOGY, TECHNICAL CONDITIONS AND CONSTRUCTION PERFORMANCE

The excavation was carried out using the Norwegian Tunnelling Method (NTM) with the application of the drill-and-blast technique. It has a lot of things common with the NATM – the New Austrian Tunnelling Method, but in reality principally differs from it. The difference lies in the assessment of geology (Q-system), in the method of supporting the excavated opening and in the technique of protecting the works against water seepage.

Equipment for the excavation support:

- shotcrete reinforced with steel or plastic fibres;
- CT rockbolts, SN 2-4m long.

Obr. 4 Umiestnenie stavby v Paakitsoq
Fig. 4 Location of the construction site at Paakitsoq

Obr. 5 Razenie odtokového tunela
Fig. 5 Driving the Tailrace Tunnel

stavby, podľa ktorej sa v triede výlomu III. a IV. zaistenie realizovalo systémovo. Počas razenia sa venovala skutočne mimoriadna pozornosť kvalitnému mechanickému a ručnému začisteniu čelby po trhacích prácach. Sústavným zahrievaním trvale zamrznutej horniny počas výrobného procesu dochádzalo k jej zvetrávaniu. Z hľadiska bezpečnosti bolo nevyhnutné opakované spätné ručné začistenie kritických úsekov podľa potreby. Každých 200 m tunela bol vybudovaný otáčací výklenok veľkosti 400 m^3 pre potrebu odťažby a dopravy v tuneli.

Odtokový tunel

Začal sa raziť s trojčlennou pracovnou skupinou ako prvý, a zároveň najdlhší tunel stavby, celkovej dĺžky 1873 m v profile 17,2 m^2 (obr. 5). Razenie prebiehalo od októbra 2011 do augusta 2012. Patria sem aj odtokové chodby z podzemnej strojovne elektrárne, v premenlivom profile od 17,2 m^2 do 7,9 m^2, dlhé 38,5 m. Odtokový tunel bol razený v smere proti prúdu vytekajúcej vody z turbín elektrárne, z toho 300 m úpadne so sklonom 10 % a 500 m dovrchne so sklonom 0,2 %. Zostávajúca časť tunela bola razená úpadne v smere po prúde, z toho 250 m so sklonom 10 % a 680 m so sklonom 0,2 %. Dno tunela pri jeho ústí do mora je umiestnené cca 4 m pod jeho hladinou. V tejto časti sa nachádza aj prístupový tunel s profilom 17,2 m^2, dlhý 60 m. Bol použitý tzv. „*Water mist*“ systém, ktorý nainštalovala firma Atlas Copco na vrtný voz. Je to vŕtanie s 10% spotrebou tlakovej vody oproti bežne používanému množstvu.

Vstupný servisný tunel

Bol razený úpadne so sklonom 10 % od septembra 2010 ako druhý objekt stavby (obr. 6). Jeho hlavnú časť tvorí tunel dĺžky 419,9 m v profile 30 m^2. Tento tunel je prepojený dvoma tunelovými rúrami do odtokového tunela dĺžky 68,19 m a do hlavného vodného privádzača dĺžky 91,5 m, oba v profile 19,8 m^2. Ďalším objektom tejto časti je transformátorová stanica v profile 82,5 m^2 a káblový a spojovací tunel v profile 18,5 m^2, spolu v dĺžke 46,5 m. Súčasťou vstupného servisného tunela sú dva obslužné výklenky v profile 49,7 m^2 a 15 m^2 celkovej dĺžky 20 m. Všetky uvedené časti boli ukončené v júni 2011.

Podzemná strojovňa

Komora strojovne je vysoká 23,5 m, dlhá 34,8 m a široká 13,6 m. Razenie komory začalo v novembri 2010 a bolo technicky dosť náročnou časťou prác (obr. 7). Dôvody boli viaceré:

Thermally insulated, heated, plastic water pipelines 63mm, 75mm and 110mm in diameter were used in all parts of the tunnels.

The excavation itself consisted of the drilling of up to 4m long holes using 48–51mm bits. The drilling using the semi-automatic TML system allowed for precise drilling into the excavation face according to drilling patterns pre-prepared for all mined structures of the project. In this way, undesired overbreaks were minimised. The system even allowed for backchecking on the drilling rig operator. The DAP explosive powder was used for the rock disintegration. It was mixed in the proportion of 3.5 litres of fuel oil to 50kg of ammonium nitrate and subsequently was blown into the blast holes by means of a charging truck. Eurodyn Magnasplit plastic explosive was used in sections with water inflows. NONEL detonators were initiated by means of a detonating fuse at the firing point. The 80g blasting fuse was applied to contour holes. The majority of the tunnel structures were driven through rock excavation classes I and II, where excavation support was carried out only sporadically, in accordance with the design documents, according to which the support was installed systematically only in excavation classes III and IV. Really extraordinary attention was devoted during the course of the excavation to the high quality mechanical and manual scaling of the heading after blasting. As a result of the systematic heating of the permanently frozen rock during the production process, the rock suffered from weathering. Because of safety reasons it was unavoidable to manually clear the critical sections repeatedly, as required. Turning bays (400m^3) were carried out every 200m of the tunnel length for the needs of the loading and transport of muck in the tunnel.

Tailrace tunnel

It was the first and at the same time the longest tunnel to start to excavate. Its total length and excavated cross-sectional area amounted to 1873m and 17.2m^2, respectively (see Fig. 5). The excavation was carried out from October 2011 to August 2012. Draft tubes from the underground power plant, 35.5m long each, with the cross-sectional areas varying from 17.2m^2 to 7.9m^2, belonged among the workings. The tailrace tunnel was driven in the direction against the flow of water discharging from the power plant; 300m of its length were driven uphill at the gradient of 0.2%. The remaining part was driven downstream on down gradients of 10% and 0.2% along the lengths of 250m and 680m, respectively. The tunnel bottom at its discharge to the sea is located ca 4m under the sea surface. The 60m long access tunnel with the profile of 17.2m^2 is also located in this part. The so-called „*Water mist*“ system was installed by Atlas Copco on the drill rig. Owing to this system, the consumption of pressurised water for drilling is reduced to 10% in comparison with the common consumption.

Access tunnel

It was driven down a 10% grade from September 2010 as the second structure of the project (see Fig. 6). The main part of it is formed by a 419.9m long tunnel with the cross-sectional area of 30m^2. This tunnel is interconnected by two tunnel tubes with the 68.19m long tailrace tunnel and the 91.5m long headrace tunnel; the cross-sectional area of both tunnels is 19.8m^2. Another structure of this part is the transformer station with the cross-sectional area of 82.5m^2 and the

Obr. 6 Vŕtanie vývrtov vo vstupnom servisnom tuneli
Fig. 6 Drilling in the access tunnel

povolená minimálna tolerancia odchýlenia sa od predpísaného výlomu, členitosť dna s jeho premenlivou výškou a lokálne geologické poruchy s nevýhodným smerovaním uloženia horninovej masy. Práce boli rozdelené na dve etapy. V prvej etape sa razila vrchná časť komory v oblúkovom tvare, ukončená v spodnej časti oboch strán nosnou hranou žeriavovej dráhy. V tejto časti bola použitá „*Metóda hladkého výlomu*“, navŕtaním obrysových dier s max. odstupom 15–20 cm s použitím 80g bleskovice. Zaistenie vrchnej časti komory bolo realizované striekanou betónovou zmesou s plastickými vláknami a zabudovaním systematických 4 m dlhých skalných CT kotiev. Na previazanie žeriavovej dráhy boli zabudované v uvedenom mieste 6 m dlhé skalné SN kotvy pod presným uhlom. Druhá etapa pozostávala z razenia spodnej časti komory metódou „*Prespliting*“. Po obvode strojovne sa navŕtali vývrty s odstupom 20 cm a počas odpalu bola táto časť horniny rozpojená v časovom predstihu oproti zvyšku rozpojovaných hornín. Celkovo bolo potrebných 77 dní do ukončenia vrtno-trhacích prác v tejto časti projektu. Na pracovisku boli striedavo, podľa typu práve prebiehajúcich prác, nasadzovaní 2 až 4 pracovníci.

Hlavný vodný privádzač

Dĺžka tunela je 1470 m s profilom 17,2 m^2. Raziace práce prebiehali v období od marca 2011 do mája 2012. Tunel bol razený dovrchne, v smere proti prúdu vtekajúcej vody do turbín elektrárne, z toho 570 m so sklonom 1,3 %, 500 m so sklonom 7 % a 400 m so sklonom 16 %. Aj v tomto tuneli sú v danom prípade situované prítokové chodby do podzemnej

18.5m^2 profile cable tunnel and a connecting tunnel, at the aggregated length of 46.5m. Two service recesses with the profile of 49.7m^2 and 15.7m^2, respectively, and at the aggregated length of 20m are parts of the access tunnel. All of the above-mentioned parts were finished in June 2011.

Powerhouse

The powerhouse chamber is 23.5m high, 34.8m long and 13.6m wide. The excavation of the chamber commenced in November 2010 and was a technically quite demanding part of the works (see Fig. 7). There were the following reasons: the minimum tolerance permitted for the deviation from the prescribed excavation contour, the dissected bottom with its variable height and local geological faults with unfavourable trends of the rock bedding. The work was divided into two stages. The curved-shape upper part of the chamber, which was terminated in the lower part of both sides by a load-bearing edge of a crane track, was driven during the first stage. In this part, the *Smooth Blasting Method* was applied, with contour holes drilled at the maximum spacing of 15–20cm, using an 80g detonating fuse. The support of the upper part of the chamber was provided by shotcrete reinforced with plastic fibres and systematic 4m long CT rock bolts. The crane track was tied with 6m long SN rock bolts installed at a precise angle. The second stage consisted of the excavation of the lower part of the chamber, using the “*Pre-spliting technique*“. Holes were drilled at 20cm spacing around the powerhouse cavern contour and the rock was disintegrated in advance of the remaining proportion of the rock to be disintegrated. The completion of the drill-and-blast operations required for this part of the project claimed the total of 77 days. Two to four workers, depending on the type of the work just underway, were alternately deployed at the workplace.

Headrace tunnel

The cross-sectional area of the 1470m-long tunnel amounts to 17.2m^2. The headrace tunnel was driven in the direction against the flow of water flowing to the powerhouse turbines; 570m of its length were driven uphill at the gradient of 1.3%, 500m on the gradient of 7% and 400m on the gradient of 16%. Even in the case of this tunnel, the gradient of the 50m-long, 17.2m^2 to 6.7m^2 cross-sectional area penstocks leading to the underground powerhouse varies. Up to 14m of these

Obr. 7 Druhá etapa razenia podzemnej strojovne
Fig. 7 The second stage of the underground powerhouse excavation

Obr. 8 Ručné vŕtanie vývrtov hlavného vodného privádzača
Fig. 8 Manual drilling of holes in the headrace tunnel

strojovne elektrárne, s premenlivým profilom od 17,2 m^2 do 6,7 m^2, dlhé 50 m. Až 14 m týchto tunelových rúr bolo vyrazených ručným vŕtaním vývrtov pomocou hydro-pneumatického vrtného stroja (obr. 8). Po trase sú umiestnené tri záchytné šachty, budované vždy po celej šírke tunela. Približne polovica tunela bola razená spolu s nezávislou protičelbou v časti podzemnej strojovne, alebo odtokového tunela s nasadením štvorčlennej, neskôr len trojčlennej osádky. Posledných 200 m razenia boli vykonávané predvrty, a v prípade potreby aj injektáž, ako u nasledujúceho tunela.

Hlavná vpusť

Išlo o technicky najnáročnejšiu časť diela (obr. 9), kde sa použila tzv. Nórska metóda prerážky jazera. Prístupovým tunelom s profilom 17,2 m^2, dlhým 497 m sa priblížilo pod hladinu jazera s označením 187 m n. m., kde výškový rozdiel od dna tunela po okraj hladiny jazera bol 55 m. Od začiatku razenia pod hladinou vody sa vŕtali štyri 24 m prieskumné vrty, následne osemnásť 16 m dlhých injektážnych vrtov, ktoré boli pod predpísaným tlakom zaplnené cementovou zmesou. Otváralo sa tromi skrátenými 2,5 m zábermi a tento proces sa cyklicky opakoval. Potom bola smerom k stredu jazera vyrazená kaverna pre hlavný uzáver vody dĺžky 14,8 m v objeme 880 m^3 rozpojenej horniny.

Obr. 9 Zaisťovanie portálu hlavnej vpuste
Fig. 9 Stabilisation of the intake 187 tunnel portal

tunnel tubes were driven using a hydro-pneumatic hand-held drill (see Fig. 8). Three rocktraps, which were always carried out across the whole tunnel width, are distributed along the route. Approximately a half of the tunnel was driven concurrently with the independent counter-heading in the area of the powerhouse or the tailrace tunnel, using crews of four and later only three. The last 200m long section was carried out by means of pre-drilled holes and, if necessary, grouting, as in the case of the following tunnel.

Intake 187 tunnel

It was the technically most complicated part of the project (see Fig. 9), where the so-called Norwegian Method of breaking through to the lake was applied. The excavation got to the vicinity of the lake surface through the access tunnel with the cross-sectional area of 17.2m^2 and the length of 497m, marked as the 187m a.s.l., where the difference in altitudes of the tunnel bottom and the lake surface edge was 55m. At the beginning of driving the tunnel under the water surface, four 24m-long probe holes were bored. Subsequently, eighteen 16m long probe holes were carried out and filled with cement mixture at the prescribed pressure. The tunnel was opened by three excavation rounds with the length reduced to 2.5m each. This process was cyclically repeated. The following steps toward the lake centre followed:

The cavern for the main water valve with the length of 14.8m and the disintegrated rock volume of 880m^3 was excavated.

Two interconnecting tunnels were driven at the end of the cavern, perpendicularly to its axis (see Fig. 10). The cross-sectional area of each of them amounts to 17.2m^2. The right-hand one is 11.7m long, whilst the length of the left-hand one is 8.6m.

A 16.2m deep shaft with the dimensions of 3x3m was excavated at the end of the right-hand interconnecting tunnel. It connected the main water supply – the headrace tunnel – with the intake tunnel.

The last part, the intake cavern with the volume of 6700 m, was driven from the left-hand interconnecting tunnel. It is 19.2m high, 45.2m long and 14m wide in the lower half of the profile. The roof is arched. It is supported with shotcrete and sporadic 3m long CT rock bolts. The sidewalls are supported in the lower half systematically with similar rock bolts. Holes for the final blasting were drilled around a 6.6m diameter circular contour at the highest point of the cavern. The length of the drillholes made to the hard rock ranged from 1.5m to 7.5m.

Power supplies to the town of Ilulissat commenced on the 31st October 2012, after Norwegian specialists successfully broke through the lake bottom covered with an up to 12m thick layer of sediments on the 30th September.

CLIMATIC CONDITIONS

As a neighbour of the North Pole, Greenland has the Arctic climate, despite the fact that there are significant differences from the north to the south and from the coast to the inland. It is in general possible to say that the climate is very dry and, as a result, the felt air temperatures are completely different from the majority of other places in the world. Temperatures ranging from 10–15°C appear to be very hot, whilst -10°C is an equivalent to a pleasant temperature. The lowest temperature during the construction period reached -38°C. The sun

Na konci kaverny sa kolmo na jej os vyrazili dva prepojovacie tunely (obr. 10) v profile 17,2 m^2. Pravý má dĺžku 11,7 m a ľavý 8,6 m.

Na konci pravého prepojovacieho tunela bola vyrazená šachta do hĺbky 16,2 m s rozmermi 3x3 m, ktorá spojila hlavný vodný privádzač s vpusťou.

Z ľavého prepojovacieho tunela bola razená posledná časť, kaverna vpuste s objemom 6700 m^3. Je vysoká 19,2 m, dlhá 45,2 m a široká 14 m v spodnej polovici kaverny. Strop je oblúkovitý, zaistený striekanou betónovou zmesou a sporadickými 3 m skalnými CT kotvami. Bočné ostenie je zaistené v spodnej polovici systematicky podobnými skalnými kotvami. V najvyššom mieste kaverny boli navŕtané vývrty s obrysom v tvare kruhu priemeru 6,6 m pre finálny odpal. Dĺžka vývrtov v pevnej hornine bola od 1,5 m do 7,5 m.

Dňa 30. 9. 2012 po vydarenom prvom odpale na svete s prerazením tunela cez dno jazera s hrúbkou sedimentov do 12 m, realizovanom špecialistami z Nórska, bola dňa 31. 10. 2012 spustená dodávka elektrickej energie do mesta Ilulissat.

KLIMATICKÉ PODMIENKY

Ako sused severného pólu má Grónsko arktické podnebie, aj keď sú tu veľké rozdiely od severu k juhu, a od pobrežia do vnútrozemia. Všeobecne možno povedať, že klíma je veľmi suchá a v dôsledku toho sa tu teploty pociťujú úplne odlišne, ako vo väčšine iných miest na svete. Teploty 10–15 °C sa javia ako veľmi teplé, zatiaľ čo –10 °C je ekvivalent na príjemnú teplotu. Najnižšia teplota v priebehu výstavby bola do –38 °C. V Ilulissate slnko nikdy nezapadá od 25. mája do 25. júla a absolútna tma počas polárnej noci trvá 4 týždne, kedy slnko vôbec nevychádza nad obzor. Polárna žiara sa objavuje po celý rok.

ZÁVER

Jedným z faktorov ovplyvňujúcich priebeh výstavby bolo počasie a poloha stavby. Tie boli rozhodujúcimi pre logistiku osôb, materiálov a strojných vybavení. Jediná možná doprava bola lodná a letecká. Nepriaznivé počasie významne menilo časový harmonogram stavby. Tieto faktory mali samozrejme aj vplyv na celkovú psychiku pracovníkov, preto bolo potrebné zabezpečiť pre nich nadštandardnú starostlivosť, či už išlo o kvalitnú stravu formou bufetu, alebo poskytnutie širokej škály možností vyžitia sa v osobnom voľne – internet, sauna, vonkajší teplý mini bazén, malá posilňovňa, súťažné spoločenské hry, biliard a TV miestnosti s domácim kinom.

IGOR HARACH, igor.harach@tucon.sk,
TuCon, a. s.

Recenzovali: Ing. Jozef Frankovský,
Ing. Branislav Neuschl

Obr. 10 Nabíjanie vývrtov v čelbe prepojovacieho tunela
Fig. 10 Charging the blast holes in the interconnecting tunnel face

never sets from the 25th May to the 25th July, whilst the absolute darkness during the polar night lasts for 4 weeks, when the sun never at all rises over the horizon. The northern lights appear throughout the year.

CONCLUSION

Among the factors affecting the course of the construction were the weather and the location of the site. They were crucial for the logistics of people, materials and mechanical equipment. The only possible transport was by shipping and air traffic. The unfavourable weather significantly changed the works schedule. Of course, these factors even influenced the overall psyche of workers. It was therefore necessary to provide them with extraordinary care not only as far as the high quality meals served in the buffet were concerned, but also with respect to the wide range of the of options for enjoyment during the personal leisure time – the Internet, a sauna, an outer warm-water mini pool, a small bodybuilding gym, competitive social games, billiard and TV rooms with a home cinema.

IGOR HARACH, igor.harach@tucon.sk,
TuCon, a. s.

LITERATURA / REFERENCES

[1] *ILULISSAT HYDROPOWER* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete < http://www.verkis.com/projects/energy-production/hydropower/nr/950>
[2] *POWER FOR ILULISSAT* [online]. 2012 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete < http://greenlandtoday.com/gb/category/power-for-ilulissat-680/>