

PODZEMNÁ PREČERPÁVACIA VODNÁ ELEKTRÁREŇ NANT DE DRANCE – ŠVAJČIARSKO

UNDERGROUND PUMPED STORAGE SCHEME NANT DE DRANCE – SWITZERLAND

MARTIN MAGDOLEN, IVAN KVAŠŠAY

ABSTRAKT

Na hranici Francúzska a Švajčiarska, na území švajčiarskeho kantónu Wallis a neďaleko turisticky známeho francúzskeho strediska Chamonix, boli v roku 2008 začaté stavebné práce na výstavbe podzemnej prečerpávacej hydroelektrárne Nant de Drance. Elektrárne sa buduje v skalnom masíve a bude využívať hydroenergetický potenciál dvoch existujúcich priehrad Emosson a Vieux-Emosson. Práce sú realizované v nadmorskej výške od cca 1800 m n. m. do 2200 m n. m. Všetky podzemné objekty boli realizované pomocou vrtno-trhacích prác, okrem prístupového tunela z údolia, ktorý bol razený tunelovacím strojom (TBM). Kaverna podzemnej strojovne (dĺžky 195 m, šírky 32 m, výšky 52 m), realizovaná v deviatich výškových etapách, patrí v súčasnosti medzi najväčšie kaverny svojho druhu v Európe. Všetky raziace práce z pôvodného projektu sú ukončené a realizované. Na základe požiadavky investora a doplnenia projektu TuCon momentálne razí tzv. vstupný tunel ZK12 do priehradného jazera Vieux-Emosson.

ABSTRACT

The construction work on the Nant de Drance underground pumped storage plant commenced on the border between France and Switzerland, in the territory of Swiss canton Wallis and near Chamonix, the French centre well known to tourists, in 2008. The power generation plant is built in a rock massif and will use the hydropower potential of two existing dams, Emosson and Vieux-Emosson. The works are realised at the altitude ranging from ca 1800m a.s.l. to 2200m a.s.l. All underground structures were carried out using the drill-and-blast technique, with the exception of the access tunnel, which was driven from the valley using a tunnel boring machine (TBM). The underground turbine hall cavern (195m long, 32m wide, 52m high), which was realised in nine stages of height, currently belongs among the largest caverns of its kind in Europe. All underground excavation operations have been finished. The so-called ZK12 entrance tunnel to the Vieux-Emosson dam reservoir is currently being driven on the basis of project owner's requirement and a supplement to the TuCon design.

ÚVOD

Prečerpávacia vodná elektrárne Nant de Drance je spoločným projektom „Združenia Nant de Drance AG“, ktoré založili švajčiarska energetická spoločnosť Alpiq AG, švajčiarska železničná spoločnosť SBB, spoločnosť IWB a energetická spoločnosť FMV z kantónu Wallis. Najväčšiu časť stavebných prác realizuje združenie GMI Marti-Implenia.

Elektrárne by mala dodávať elektrickú energiu do siete od roku 2017.

OPIS PROJEKTU

Z histórie prípravy projektu

Začiatkom roku 2000 bola spoločnosť AF-Consult Switzerland AG požiadaná o vypracovanie štúdie realizovateľnosti a v auguste 2008 bolo udelené stavebné povolenie pre výstavbu elektrárne s plánovaným výkonom 600 MW. V roku 2009 združenie prehodnotilo jestvujúci projekt a rozhodlo o zvýšení výkonu elektrárne na 900 MW. Po dlhých rokovaníach sa podarilo v roku 2010 dosiahnuť schválenie zvýšenia kapacity na 900 MW (zmenený projekt Nant de Drance+), čo si okrem ostatných súvisiacich problémov vyžiadalo navýšenie priehradného múru hornej nádrže o 23 m. Celkové náklady sa odhadovali na 1,8 mld. CHF.

Okrajové podmienky

Hydroelektrárne bude využívať výškový rozdiel 350 m a krátku vzdialenosť medzi dvomi existujúcimi priehradami (obr. 1), nachádzajúcimi sa na juhozápade Švajčiarska v pohraničnej oblasti s Francúzskom, v horskom masíve Aiguilles Rouges medzi mestami Martigny (CH) a Chamonix (FR).

INTRODUCTION

The Nant de Drance pumped storage scheme is a joint project of the “Nant de Drance AG consortium”, which was founded by Alpiq AG, a Swiss electric energy provider, SBB Swiss Federal Railways, Industrielle Werke Basel (IWB) and FMW energy company based in the canton of Wallis. The largest part of the construction work is being realised by the GMI Marti-Implenia consortium.

The power plant should supply electrical energy to the network from 2017.



Obr. 1 Existujúce akumulčné nádrže Vieux-Emosson (vľavo dole) a Emosson (vpravo hore)

Fig. 1 Existing Vieux-Emosson accumulation reservoirs (left bottom) and Emosson (right top)

Vodná elektrárň Emosson SA

Výroba „zelenej“ energie v tomto regióne prebieha už od roku 1926. V rokoch 1952–1955 bola ukončená výstavba priehradného múru horného jazera Vieux-Emosson, ktorého hladina pri maximálnom naplnení dosahuje výšku 2205 m n. m. Po dohode medzi Francúzskom a Švajčiarskom v rokoch 1967–1975 bola vybudovaná priehrada Emosson, ktorej maximálna hladina dosahuje nadmorskú výšku 1930 m n. m. Vybudovaním novej priehrady Emosson došlo k zatopeniu starej priehrady Barberine a zvýšeniu retenčného objemu nádrže na 210 mil. m³. V súčasnosti je voda z nádrží Vieux-Emosson a Emosson využívaná dvakrát. Privádzačmi je vedená do elektrárne Vallorcine (FR) v nadmorskej výške 1125 m n. m. a následne je z tejto elektrárne ďalším potrubím odvádzaná do centrály La Bâtiaz v meste Martigny (CH) v nadmorskej výške 462 m n. m.

Geológia

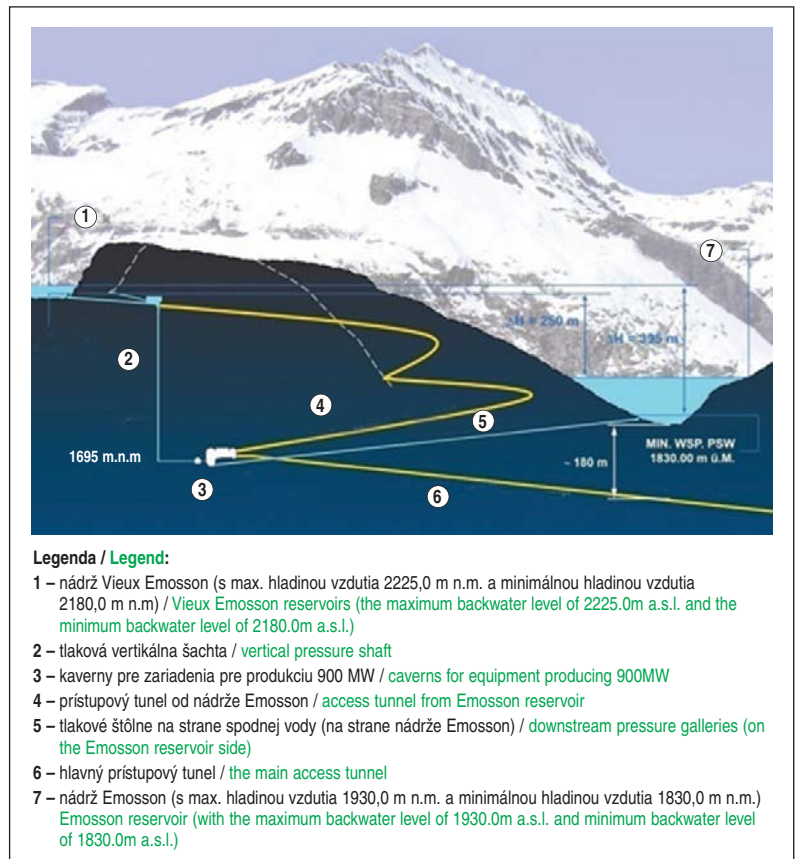
Najväčšia časť stavebných prác sa realizuje v horskom masíve Aiguilles Rouges tvorenom prevažne granitom, ortorulami a metamorfovaným kremencom. Celkovo je horský masív pre výkon vrtno-trhacích prác charakterizovaný dobrými až veľmi dobrými vlastnosťami.

PROJEKT NANT DE DRANCE + (900 MW)

Hlavnými objektmi podzemnej elektrárne Nant de Drance sú okrem kaverny aj strojovne a privádzače vody dimenzované na prietok 180 m³/s (obr. 2).

Elektrárň tvoria nasledovné objekty (obr. 3):

- horné existujúce akumulčné jazero Vieux-Emosson, s priehradným múrom navýšeným o 23 m:
 - gravitačná priehrada výšky 65 m (po navýšení);
 - kapacita hornej nádrže sa po navýšení priehradného múru zdvojnásobila z pôvodných 13,8 mil. m³ na objem 24,6 mil. m³;
- systém privádzačov vody na hornom toku elektrárne s prietokom 180 m³/s tvoria:
 - 2 vtokové resp. výtokové objekty prierezu 16x11 m;
 - 2 tlakové privádzače vody dĺžky 278 m, v pozdĺžnom spáde 9,5 %, priemer 7,7 m;
 - 2 vertikálne šachty výšky 442 m, priemer 7 m;
 - 2 sady pancierových rúr v oblasti päty vertikálnych šacht, dĺžka 55 m, priemer 5,5 m, pozdĺžny sklon 2 %;
 - 2 pancierové rozplety na tri turbíny, dĺžka 30 m, priemer 3,2 m;
- kaverna strojovne (dĺžka 195 m, šírka 32 m, výška 52 m):
 - kubatúra výlomu 238 000 m³;
 - 6 Francisových turbín – každá s výkonom 150 MW;
 - 12 guľových uzáverov nad a pod turbínami;
- privádzače vody na spodnom toku podzemnej elektrárne pozostávajú z nasledovných častí:
 - 2 pancierové redukcie z troch turbín: dĺžka 45 m, priemer 3,7 m;
 - 2 pancierové rúry dĺžka 30 m, priemer 5,5 m;
 - 2 výtokové tlakové štólne dĺžka 1170 m, priemer 7,7 m, v pozdĺžnom stúpaní 9,5 až 12,5 %;
 - 2 výtokové, resp. vtokové objekty, priečny prierez 25x11 m;
- spodná existujúca akumulčná nádrž Emosson:
 - klenbová priehrada výšky 180 m;
 - užitočný obsah nádrže 210 mil. m³.



Obr. 2 Schéma podzemného systému elektrárne Nant de Drance
Fig. 2 A scheme of the underground system of the Nant de Drance power plant

PROJECT DESCRIPTION

From the project preparation history

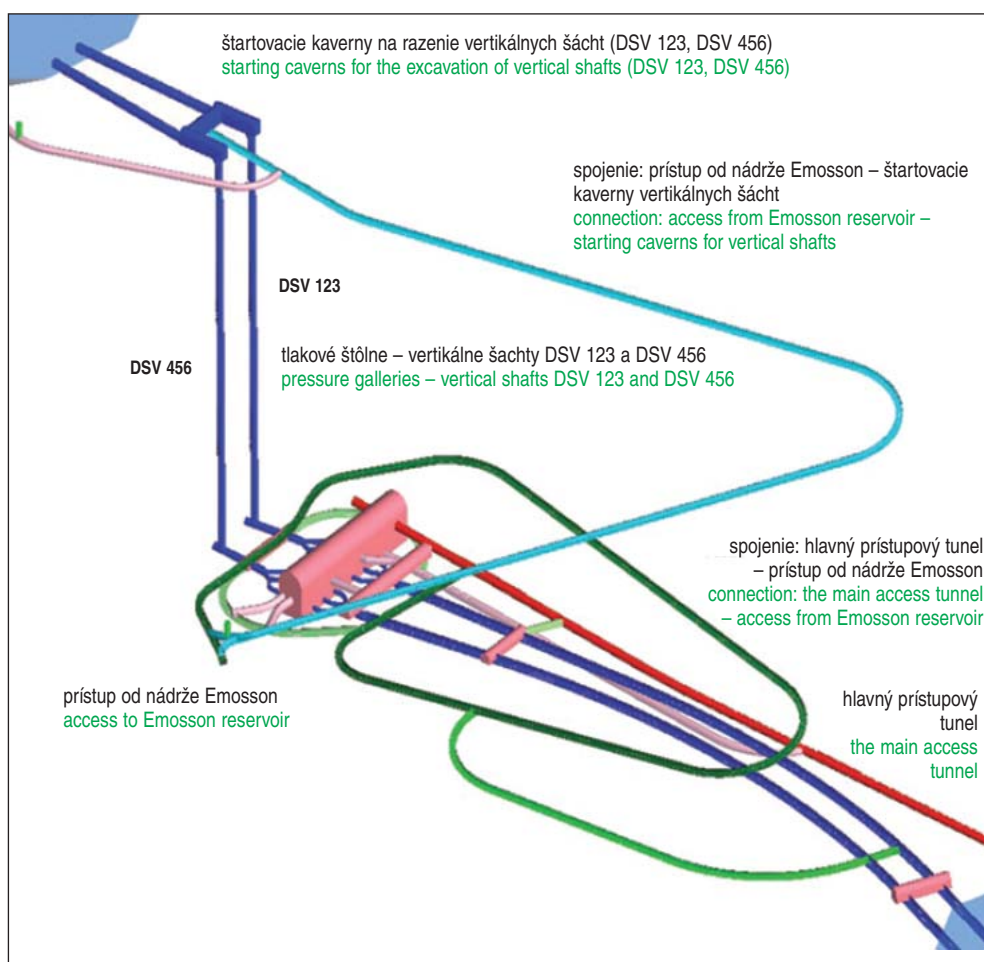
At the beginning of 2000, AF-Consult Switzerland AG was requested to develop the feasibility study and the building permit for the development of a power plant with the planned output of 600MW was issued in August 2008. In 2009, the consortium reassessed the existing project and decided on an increase in the power plant output to 900MW. After lengthy negotiations, the approval to increasing the capacity to 900MW (the modified Nant de Drance+ project) was successfully achieved, which fact, apart from other related problems, claimed an increase in the dam wall of the upper dam reservoir by 23m. The total costs were estimated to each CHF 1.8 billion.

Boundary conditions

The hydropower plant will take advantage of a height difference of 350m and the short distance between two existing dams located in the south-west of Switzerland (see Fig. 1), in an area bordering with France, in the Aiguilles Rouges mountain range, between the towns of Martigny (CH) and Chamonix (FR).

Emosson SA hydropower plant

The generation of “green” energy in this region has been underway since 1926. In 1952–1955, the construction of the dam wall of the Vieux-Emosson upper reservoir, the elevation of the surface of which reaches 2205m a.s.l. at maximum filling, was finished. The Emosson dam was built in 1967–1975, after the conclusion of an agreement between France and Switzerland. Its maximum surface elevation reaches 1930m a.s.l. As a result of the development of the new Emosson dam, the old Barberine dam got inundated and the retention volume of the reservoir grew to 210 million m³. Currently, water from the Vieux-Emosson and Emosson reservoirs is used twice. It flows through headrace tunnels to the Vallorcine power plant (FR) at the altitude of 1125m a.s.l. and, subsequently, is diverted



Obr. 3 Priestorová vizualizácia podzemného systému štôlní a kaverien elektrárne Nant de Drance
Fig. 3 Spatial visualisation of the underground system of galleries and caverns of the Nant de Drance power plant

K zhotoveniu hlavných objektov podzemnej elektrárne z dôvodu logistiky a dodržania termínu výstavby bolo potrebné naprojektovať a zrealizovať tri prístupové štólne:

- hlavný prístupový tunel (ZTH) ku kaverne strojovne z hlavného údolia z dedinky Châtelard celkovej dĺžky 5600 m, razený pomocou TBM v stúpaní cca 11 %, priemer 9,45 m;
- dva prístupové tunely (ZTE a ZTVE) zo západného prístupu (portálu) do systému štôlní a kaverien:
 - tunel ZTE dĺžky 2150 m, na svojom konci ústi do hlavného prístupového tunela ZTH;
 - tunel ZTVE celkovej dĺžky 1730 m, na ktorý sa napája tunel ZSVE dĺžky 388 m s ústím pod päťou hrádze hornej nádrže, slúži ako prístupový a logistický tunel k hornému jazeru Vieux-Emosson.

Ďalšími logistickými objektmi projektu sú:

- trafokaverna: dĺžka 146 m, šírka 18 m, výška 15 m;
- trvalá depónia vyrúbaného materiálu pri západnom portáli s objemom 1 600 000 m³;
- dočasná depónia vyťaženého horninového materiálu, ktorý sa neskôr podrivil a použil na výrobu betónu potrebného hlavne na navýšenie hrádze horného jazera Vieux Emosson v celkovom objeme 38 300 m³.

REALIZÁCIA PRÁČ

Portál hlavného prístupového tunela v Le Châtelard

Portál v dedinke Le Châtelard bol vybudovaný na jar a v lete 2009. Jeho technické riešenie kládlo vysoké nároky na

from this power plant through another pipeline to La Bâtière centre at the town of Martigny (CH) at the elevation of 462m a.s.l.

Geology

The largest proportion of the construction work is carried out in the Aiguilles Rouges mountain range area, which is mostly formed by granite, orthogneiss and metamorphosed quartzite. In general, the mountain massif is characterised by properties good to very good for the application of the drill-and-blast method.

NANT DE DRANCE + (900MW) DESIGN

Apart from the cavern, the main structures of the Nant de Drance underground power plant are also the turbine rooms and headrace tunnels, which are designed for the flow rate of 180m³/s (see Fig. 2).

The power plant is formed by the following objects (see Fig. 3):

- the existing upper accumulation reservoir Vieux-Emosson with the dam wall height increased by 23m:
 - gravity dam 65m high (after increasing the height);
 - the upper reservoir capacity got doubled from original 13.8 million m³ to the volume of 24.6 million m³ after increasing the dam wall height;
- the system of headrace tunnels upstream of the power plant with the flow rate capacity of 180m³/s consists of:
 - 2 intake structures (respectively outlet structures) with the cross-sections of 16x11m;
 - 2 headrace tunnels, each 275m long, on the longitudinal gradient of 9.5%, 7.7m in diameter;
 - 2 vertical shafts, each 442m high, 7m in diameter;
 - 2 sets of armoured tubes in the area of the bottom of the vertical shafts, 55m long, 5.5m in diameter, on longitudinal gradient of 2%;
 - 2 armoured bifurcations leading to three turbines, 30m long, 3.2m in diameter;
- the turbine hall cavern (195m long, 32m wide, 52m high):
 - excavated volume of 238,000m³;
 - 6 Francis turbines –150MW output each;
 - 12 ball valves above and under turbines;
- the headrace tunnels downstream of the underground power plant, consisting of the following parts:
 - 2 armoured adaptors from three turbines: 45m long, 3.7m in diameter;
 - 2 armoured tubes 30m long, 5.5m in diameter;
 - 2 outlet pressure galleries each 1170m long, 7.7m in diameter, on a rising longitudinal gradient ranging from 9.5 to 12.5%;
 - 2 intake structures (respectively outlet structures) with the cross-sections of 25x11m;
- the lower, existing, Emosson accumulation reservoir:
 - arch dam, 180m high;
 - live storage capacity of 210 million m³.

projektantov i realizátorov, keďže kalota tunela prechádzala v hĺbke len 3 m pod železničnou traťou Martigny – Chamonix, a bez výluky železničnej dopravy (obr. 4).

Geologické prostredie tvorí svahová sutina, ktorá od začiatku prác nebola dostatočne preskúmaná. Na základe zrealizovaného deštruktívneho vrtu bola mocnosť nespevneného horninového prostredia odhadnutá na 25–30 m.

Zaistenie portálu pozostávalo zo železobetónového trámu, ukotveného bezprostredne pod koľajami trate tromi radmi masívnych betónových platní a predpätými 25–35 m dlhými kotvami, medzi ktorými bola nespevnená hornina stabilizovaná ešte 9 m dlhými pasívnymi kotvami. Hlavný prvok zaistenia výrubu na portáli bol rúrový dáždnik dĺžky 18 m, opretý v prednej časti o oceľové oblúky HEB 200, ktoré boli kotvené do skalného masívu.

Následne bol v pieskovcoch a bridliciach konvenčným spôsobom vyrazený 110 m dlhý štartovací tunel pre nasadenie TBM stroja. Poloha železničných koľají nachádzajúcich sa v tesnej blízkosti portálu bola denne kontrolovaná geodetickými meraniami. Kontrolné body a vertikálne inklinometre s automatickým prenosom dát umožňovali nepretržitú železničnú prevádzku. Celkové namerané sadnutie koľají 35 mm si vyžiadalo úpravu iba ich jednorazovým podbitím.

Hlavný prístupový tunel

Jedným z variantov dodávateľa prác bolo nasadenie plno-profilového raziaceho stroja (TBM). Hlavnými dôvodmi pri rozhodovaní o tomto variante výstavby boli: vyšší výkon pri razení, možnosť prejsť cez poruchové zóny bez otrasov spôsobovaných konvenčnými metódami, nasadenie pásového dopravníka slúžiaceho aj v budúcnosti na vývoz rúbaniny z ďalších kaverien a štôlní budovaných konvenčne, a menej prašné prostredie, a teda lepšie pracovné podmienky pre pracovníkov.

Údaje a výbava otvoreného TBM do použitého pri razení v tvrdých horninách sú:

- dodávateľ Herrenknecht (prevzatie a úprava Marti Technik);
- priemer štítu 9,45 m;
- vrtná hlava je vybavená 55 kusmi jednoduchých valivých dlát \varnothing 430 mm, v rozpone 90 mm;
- posuvná sila 18 000 kN;
- pohon vrtnej hlavy: 10x350 kW s reguláciou otáčok;
- otáčky vrtnej hlavy: 0–6 RpM;
- transport rúbaniny pomocou pásového dopravníka;
- celková dĺžka TBM s príviesom je 142 m;
- celková hmotnosť stroja je 1450 t.



Obr. 5 Náročná údržba a sprístupňovanie vonkajších komunikácií po zimných mesiacoch

Fig. 5 Demanding maintenance and opening of external roads to traffic after winter months



Obr. 4 Portál Le Châtelard a zariadenie staveniska, prístupový tunel ZTH razený popod železničnú trať

Fig. 4 Le Châtelard portal and site arrangement, the ZTH tunnel driven under railway track

It was necessary for the reasons of logistics and meeting the deadline for the construction of the main structures of the underground power plant to design and carry out three access galleries:

- the 5600m long, 9.45m-diameter ZTH main access tunnel to the turbine hall cavern from the main valley from the small village of Châtelard, driven on a rising gradient of 11%, using a TBM;
- two access tunnels (ZTE and ZTVE) from the western entrance (portal) to the system of galleries and caverns:
 - the 2150m long ZTE tunnel, linking at its end to the ZTH main access tunnel;
 - the ZTVE tunnel with the total length of 1730m, to which the 388m long ZSVE tunnel with its mouth under the toe of the upper reservoir dam connects, serves as an access and logistic tunnel to the Vieux-Emosson upper reservoir.

There are the following other logistics structures of the project:

- the cavern for transformers: 146m long, 18m wide, 15m high;
- a permanent muck stockpile at the western portal for the volume of 1,600,000m³;
- a temporary stockpile for the muck which was later crushed to be used for the production of concrete required mainly for increasing the height of the dam of the upper Vieux Emosson reservoir with the total volume of 38,300m³.

WORKS REALISATION

The portal of the main access tunnel at Le Châtelard

The portal at the small village of Le Châtelard was built in the spring and summer of 2009. The technical solution placed heavy demands both on designers and constructors because of the fact that the tunnel top heading passed at the depth of a mere 3m under the Martigny – Chamonix railway track and closing of the line to traffic was not permitted (see Fig. 4).

The geological environment is formed by slope debris, which has not been sufficiently surveyed since the beginning of the work. The thickness of the non-stabilised ground environment was estimated at 25–30m on the basis of a completed destructive borehole.

The portal support consisted of a reinforced concrete beam anchored immediately under the track rails by means of three rows of massive concrete plates and 25–35m long pre-tensioned anchors; the non-stabilised ground between the anchors



Obr. 6 Montáž technológie betonárky

Fig. 6 Installation of the batching plant technology

Montáž TBM stroja začala v auguste 2009 zostavením prívesu na koľajniciach. Samotná montáž TBM prebehla od polovice októbra do konca novembra. Pracovníci začali razeň hlavného prístupového tunela v januári roku 2010 a ukončili ho 22. augusta 2012 v strojovej kaverne KMA.

Výkony razeňa sa v rôznych geologických zónach menili. V granitoch bol dosiahnutý priemerný výkon 15 m/deň, v rule 20 m/deň, v metamorfovaných kvarcitoch až 25–35 m/deň a v týchto geologických podmienkach bol v októbri 2011 aj dosiahnutý špičkový mesačný výkon 727 m. Prieskumnými vrtmi boli pred hlavou TBM indikované silno zhoršené horninové pomery. Na základe týchto poznatkov bolo rozhodnuté spevňovať horninu pred hlavou TBM injektážou, ktorá bola vykonávaná cez zvýšený počet vrtov (spravidla bolo vrtaných 60 vrtov pre každý dáždnik). Na injektáž sa používala mikro-cementová injektážna zmes.

Táto vynútená zmena technológie však viedla k podstatnému spomaleniu razeňa strojom TBM, čo následne zapríčinilo v roku 2011 zimné prerušenie prác na štôlniach a kavernách budovaných konvenčne zo západného portálu, ktoré boli prístupné len po vonkajších komunikáciách, ohrozených padajúcimi lavínami (obr. 5).

Pôvodný plán vyvážať vytážený materiál už hotovým hlavným prístupovým tunelom ZTH cez drvič a pásový dopravník narušilo spomalenie prác v tuneli ZTH natolko, že to viedlo k nutnosti nájsť a vytvoriť alternatívnu depóniu výrubového materiálu. Hlavný prístupový tunel ZTH bol ukončený 22. augusta 2012 a následná prerážka s konvenčne razeným systémom štôlní 6. septembra vytvorila predpoklady na kontinuálny priebeh stavebných prác, neobmedzovaný zimnými klimatickými vplyvmi. V trase ZTH tunela, cca 250 m od jeho konca, sa konvenčným spôsobom vyrážala kaverňa KBA, ktorá bola využitá na demontáž raziaceho stroja TBM.

Následne bola v kaverne zriadená betonáreň – z toho plynie aj názov kaverne, skr. KBA (z nemeckého Kaverne–Betonanlage) (obr. 6). Produkcia betónových zmesí začala v októbri 2013.

Vtokovo-výtokové objekty

Podľa pôvodného predpokladu mala byť priehrada Emosson celú sezónu 2011 vypustená, čo by umožnilo vyraziť prvé metre tlakových štôlní a vybudovať železobetónové vtokovo-výtokové objekty. Úplné vypustenie priehradu na potrebné obdobie výstavby by však malo za následok výpadok produkcie elektrickej energie jestvujúcich elektrární. Funkčnosť

was in addition stabilised by 9m long passive anchors. The main element of the excavation support were 18m long canopy tubes, resting at the front end part on HEB 200 steel arches, which were anchored to the rock massif.

Subsequently, a 110m long tunnel for launching the TBM was conventionally driven through sandstone and shale. The position of the railway track located in the close vicinity of the portal was daily inspected by surveyors. Control points and vertical inclinometers with automatic data transmission further allowed for uninterrupted railway operation. The total settlement of the tracks of 35mm required only one-time packing.

The main access tunnel

One of the variants offered by the contractor was the application of a tunnel boring machine (TBM). There were the following main reasons when the decision on this variant was being made: the higher excavation advance rate, the possibility of passing through fault zones without vibration caused by conventional methods, the application of a belt conveyor to be used even in the future for the transport of muck from other caverns and galleries carried out using conventional methods and less dusty environment, thus better working conditions for workers.

The data on and the equipment of the open-mode TBM applied to the excavation through hard rock:

- supplier: Herrenknecht (take-over and modification: Marti Technik);
- shield diameter: 9.45m;
- cutterhead equipped with 55 simple disk cutters \varnothing 430mm, spaced at 90mm;
- thrust force: 18,000kN;
- cutterhead drive: 10x350kW with the regulation of the rate of revolutions;
- rate of cutterhead revolutions: 0–6Rpm;
- transport of muck: on a belt conveyor;
- aggregated length of the TBM with trailing gear: 142m;
- total weight of the machine: 1450t.

The TBM assembly commenced in August 2009 by the installation of the trailing gear on the rails. The assembly of the TBM itself lasted from the half of October to the end of November. Workers started to drive the main access tunnel in January 2010 and finished it on the 22nd August 2012 in the KMA turbine hall cavern.

The excavation advance rates varied depending on the particular geological zones. The average daily advance rates achieved in granites and metamorphosed quartzite amounted to 15m/day and 20m/day, respectively. The peak monthly advance rate of 727m was achieved in these geological conditions in October 2011. Exploratory boreholes indicated seriously worsened ground conditions ahead of the cutterhead. The decision to reinforce the ground ahead of the cutterhead by injecting grout into it and increasing the number of drillholes (60 holes were usually drilled for each canopy) was made on the basis of this knowledge. Microfine cement mixture was used for the grouting.

This enforced change in the technology resulted in a substantial reduction of the TBM excavation advance rate and, subsequently, in the winter of 2011, caused the suspension of the conventional excavation of galleries and caverns carried out from the western portal, which were accessible only along external roads and were therefore threatened by falling avalanches (see Fig. 5).

The original plan to transport the muck out already through the finished ZTH main access tunnel via the crusher and the belt conveyor was upset so much that it led to the necessity for finding and developing an alternative area for dumping the muck. The ZTH main access tunnel was finished on the 22nd August 2012 and the subsequent breakthrough to the conventionally



Obr. 7 Výstavba vtokovo-výtokového objektu
Fig. 7 Construction of an inlet-outlet structure

systému je postavená na tom, že sa priehrada naplní od apríla do septembra vodou z topiaceho sa snehu a zrážkovou vodou. Keby k naplneniu priehrady v tomto období nedošlo, nebola by možná dôležitá produkcia elektrickej energie v zimných mesiacoch, s následkom výrazných finančných strát pre užívateľa. Preto zo strany investorov vyšla požiadavka na etapizáciu výstavby týchto objektov na viac rokov a obmedzenie prác na intervaly od začiatku marca do konca mája. Vtedy by bolo možné priehradu od júna ešte dostatočne naplniť, aby nedošlo k výpadku produkcie elektrickej energie. Táto zmena mala závažný dosah na priebeh výstavby a celú organizáciu prác.

Na jar roku 2009 bol vykonaný prieskum podložia pre optimalizáciu umiestnenia vtokovo-výtokových objektov. V roku 2010 bola vybudovaná prístupová cesta a stavebná plošina, potrebná pre výkon prác v priehrade Emosson, vrátane predzárezu pre vtokovo-výtokové objekty. Na jar roku 2011 bolo začaté razenie počiatočných 50 m oboch tlakových štôlní a betonáž základu vtokovo-výtokových objektov. V lete toho istého roku bol zhotovený prvý železobetónový vtokovo-výtokový objekt na vyššie položenú plošinu, ktorá sa nachádzala v nadmorskej výške 1917 m n. m., a bola preto zaplavovaná až pri dosiahnutí maximálnej hladiny v priehrade (obr. 7). Zostával tak dostatok času na debniace, armovacie a betonárske práce rámového objektu s pôdorysnými rozmermi 22x25 m a výškou 11 m, čo zodpovedá objemu 6000 m³. Koncom septembra 2011 dosiahla hladina priehrady potrebnú výšku, objekt bol zaplavený pomocou vzduchového vankúša a plávajúceho pontónu preplaveného po jazere na miesto uloženia, a následne potopeného na vybudovanú železobetónovú dosku. Na jar roku 2012 bolo vybetónované vnútorné ostenie klenby a dna tlakovej štôlne, prechodový úsek medzi ústím štôlne a rámovým vtokovo-výtokovým objektom. Podobným postupom bol v tom istom roku postavený a naplavený aj druhý objekt (obr. 8).

Prístupové tunely razené od portálu Emosson

Raziace práce na prístupových tuneloch boli začaté v polovici augusta v roku 2009. Kaverna rozvetvenia tunelov s nadložími len 15 m bola vybudovaná bez väčších ťažkostí a razenie oboch štôlní ZTE a ZTVE pokračovalo do konca novembra 2009. V roku 2010 bolo možné vykonávať práce od začiatku apríla do konca novembra, pričom bolo vyrazených 1558 m stúpajúcej štôlne ZTVE a 1342 m klesajúcej ZTE. V roku 2011 boli obe prístupové štôlne dokončené. Z klesajúcej štôlne ZTE bol vyrazený v roku 2011 tunel



Obr. 8 Jar 2013, oba vtokovo-výtokové objekty naplavené a uložené na pripravených betónových prahoch, hladina vody v jazere Emosson je vypustená na minimum

Fig. 8 Spring of 2013, both inlet-outlet structures floated and placed on prepared concrete sills; Emosson reservoir surface level at the minimum

driven system of galleries on the 6th September created conditions for the continual course of construction operations unlimited by winter climatic effects. The KBA cavern was excavated conventionally on the ZTA tunnel route, approximately 250m from its end. It was used for dismantling the TBM.

A batching plant was subsequently established in the cavern, which is the explanation for the abbreviation of the tunnel name, KBA (from German Kaverne–Betonanlage) (see Fig. 6). The production of concrete mixtures commenced in October 2013.

Intake-Outlet structures

According to the original assumption, the Emosson dam reservoir was to be empty for the whole winter season, which would have allowed for excavating initial metres of the pressure galleries and building reinforced concrete intake-outlet structures. However, complete emptying of the dam reservoir for the required period would have resulted into a break in the production of electric energy by existing power plants. The functionality of the system is based on the fact that the dam reservoir is filled from April to September with water from thawing snow and stormwater. If the reservoir was not filled during this period, the important production of electric energy during winter months would not be possible, which would lead to significant financial losses for the user. For that reason, a requirement came from investors for staging the construction of these objects for more years and restraining the operations to the intervals from the beginning of March to the end of May. At that time it would still be possible to fill the reservoir from June sufficiently so that no stopping of the production of power was necessary. This change significantly affected the course of the construction works and the entire works organisation.

A survey for the purpose of the optimisation of the place for the intake-outlet structures was conducted in the spring of 2009. In 2010, an access road and a construction platform required for the execution of the work on the Emosson dam, including a pre-cut for the intake-outlet structures, were carried out. In the spring of 2011, the excavation of the initial 50m of both pressure galleries and the casting concrete for foundations of the intake-outlet structures commenced. In the summer of the same year, the first reinforced concrete intake-outlet structure was completed on the higher located platform, which lied at the altitude of 1917m a.s.l. and was therefore inundated only later, when the maximum level of water surface in the reservoir had been reached (see Fig. 7). In this way,



Obr. 9 Prerážka prístupovej štólne ZSVE 5. júla 2011 k päte hornej hrádze Vieux-Emosson, pracovný kolektív firmy TuCon, a. s., Žilina
Fig.9 Breakthrough of the ZSVE access gallery to the Vieux-Emosson upper dam toe on the 5th July 2011; TuCon, a. s., Žilina working team

BDSO-2 a kaverna BKOW neďaleko ústia dvoch vertikálnych šácht, prístupové tunely k strojovej kaverne ZSK a BKMA a kalota strojovej kaverne KMA. V horných priestoroch sa pokračovalo razením prístupovej štólne k päte hornej hrádze Vieux-Emosson ZSVE, a jej prerážka dňa 5. júla 2011 bola prvým veľkým časovým míľnikom stavby (obr. 9). Táto štólňa bola využívaná pre materiálovú logistiku betónárne, postavenej pre spomínané navýšenie priehradného múru hornej nádrže.

- ZTE – prístupový tunel od nádrže Emosson k hlavnému prístupovému tunelu;
- ZTVE – prístupový tunel od nádrže Emosson k nádrži Vieux Emosson;
- BDSO-2 – stavebný prístup (štólňa) k päťam vertikálnych šácht;
- BKOW – stavebná kaverňa na strane „hornej vody“ (pred turbínami) pre montáž oceľových tlakových privádzačov na jednotlivé turbíny;
- BKMA – stavebný prístup (štólňa) do kaverne KMA;
- KMA – kaverňa hlavnej strojovne.

Kaverne KDSV a KSO

Výrub kaverien bol členený na kalotu a dve úrovne lavice, pričom primárne zaistenie výrubu bolo vykonané striekaným betónom a kotvami Swellex. Následne boli zabudované ďalšie vrstvy striekaného betónu vystužené oceľovými sieťami a výrub sa definitívne zaistil 6 m a 8 m dlhými maltovanými kotvami priemeru 32 mm.

Kaverne KDSV 123 a KDSV 456 slúžili ako štartovacie kaverne pre razenie dvoch cca 440 m dlhých vertikálnych šácht.

V každej kaverne bola vybudovaná jedna vertikálna šachta (obr. 10). Systémom „raise drilling“ s priemerom korunky 381 mm sa najskôr vyvrtal pilotný vrt na dno šachty. Späťne, smerom zdola nahor, sa vrt rozšíril korunkou s priemerom 2440 mm a následne, zhora nadol, sa vrtno-trhacími prácami vonkajší priemer rozšíril na 8,2 m. Maximálna dĺžka záberu pri rozširovaní dosiahla 2,5 m. Práce na vertikálnych šachtách boli začaté v júni 2012.

Strojová kaverňa KMA

Razenie strojovej kaverne kládlo vzhľadom k jej vzdialenosti od portálov vysoké nároky na plánovanie, logistiku a bezpečnosť. Raziace práce prebiehali v deviatich etapách (tzn. v 9 výškových úrovniach) od kaloty smerom dolu. Celková dĺžka kaverne je 195 m, výška 52 m, šírka 32 m. Profil kaloty bol členený na tri časti (obr. 11), pričom stredná

sufficient time was left for the installation of formwork, then placement of concrete reinforcement and casting concrete for the framework structure with the ground plan dimensions of 22x25m and the height of 11m, corresponding to the volume of 6000m³. At the end of September 2011, the water surface in the dam reservoir reached the required level; the structure was transported by means of an air cushion and a floating pontoon across the reservoir to the placement location, where the pontoon was sunk and settled on the completed reinforced concrete slab. In the spring of 2012, concrete was cast for the inner lining of the vault and bottom of the pressure gallery and the transition section between the gallery mouth and the intake-outlet framework structure. A similar procedure was applied during the same year to the construction of the second structure and floating it to its place (see Fig. 8).

Access tunnels driven from the Emosson portal

Tunnelling work on the access tunnels commenced in the middle of February 2009. The tunnel bifurcation cavern with the overburden only 15m high was carried out without more significant difficulties and the excavation of both galleries (ZTE and ZTVE) continued until the end of November 2009. In 2010, it was possible to carry out work operations from the beginning of April to the end of November; 1558m of the ZTVE gallery and 1342m of the ZTE gallery were driven on rising and down gradients, respectively. Both access galleries were finished in 2011. The excavation of the BDSO-2 tunnel and the BKOW cavern from the descending ZTE gallery near the mouths of two vertical shafts, the access tunnels to the ZSK turbine hall cavern, the BKMA and the top heading of the KMA turbine hall cavern was finished in 2011. In the upper spaces, the excavation of the access gallery to the toe of the upper dam Vieux-Emosson ZSVE continued; this gallery breakthrough on the 5th July 2011 was the first big milestone of the project (see Fig. 9). This gallery was used for the material logistics of the concrete batching plant, which was established for the purpose of the above-mentioned increasing the height of the dam wall of the upper reservoir.

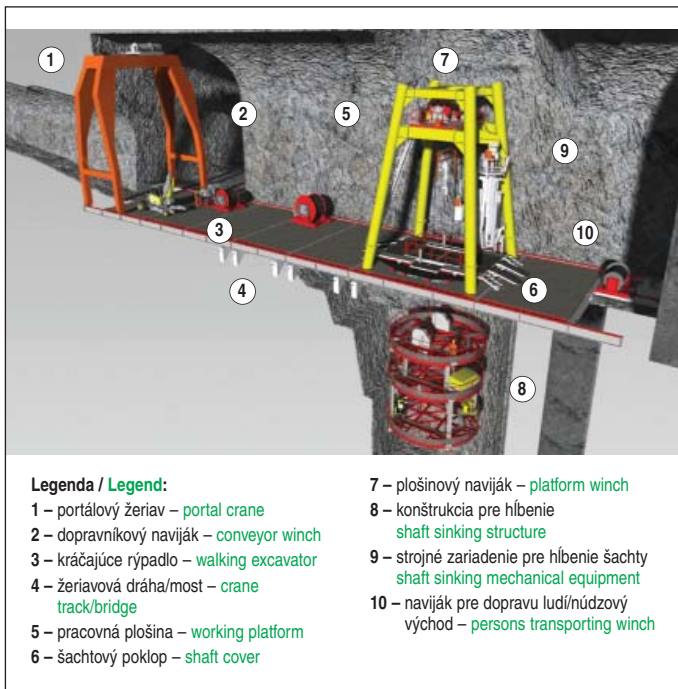
- ZTE – the access tunnel from the Emosson reservoir to the main access tunnel;
- ZTVE – the access tunnel from the Emosson reservoir to the Vieux Emosson reservoir;
- BDSO-2 – construction access (gallery) to the bottoms of vertical shafts;
- BKOW – construction cavern on the upstream side (before turbines) for the installation of steel penstock tubes leading to individual turbines;
- BKMA – construction access (gallery) to the KMA cavern;
- KMA – main turbine hall cavern.

KDSV and KSO caverns

The excavation of the caverns was divided into the top heading and two bench levels; the primary excavation support was carried out using shotcrete and Swellex rock bolts. Other layers of shotcrete reinforced with welded mesh were applied subsequently. The excavation was definitely stabilised by 6m and 8m long fully grouted rock bolts 32mm in diameter.

The KDSV 123 and KDSV 456 caverns were used as starting caverns for the excavation of two ca 440m long vertical shafts.

One vertical shaft was carried out in each cavern (see Fig. 10). The raise-boring system was used. First, a pilot hole was carried out with a 38mm-diameter bit down to the shaft bottom. The borehole diameter was reamed back with a 2440mm diameter head and, subsequently, the outer diameter was enlarged to 8.2m from the top by means of the drill-and-blast technique. The maximum length of one excavation round during the enlarging operations reached 2.5m. The work on the vertical shafts commenced in June 2012.



Obr. 10 Schéma pracovných plošín – razenie vertikálnych šácht
Fig. 10 Chart of working platforms – excavation of vertical shafts

časť, takzvaná pilotná štôlna, mala plochu výrubu 83 m² a bočné rozšírenia s plochou výrubu 44 m². Tie boli razené s rozstupom do max. 25 m medzi sebou.

Primárne zaistenie kaloty tvorila vrstva striekaného betónu hr. 20 cm, vystuženého jednou vrstvou oceľových sietí a maltovanými kotvami dĺžky 6 m a priemeru 32 mm v rastri 1,5x1,5 m.

Sekundárne ostenie hornej klenby kaverne (obr. 12) pozostávalo zo železobetónových rebier, uložených na železobetónových úložných prahoch, slúžiacich zároveň ako opora stavebnej žeriavovej dráhy. Prahy boli kotvené 20 m dlhými predpätými kotvami v úrovni prvej lavice kaverne.

Raziace práce v strojovej kaverne KMA boli ukončené 7. 4. 2014 a od 1. 5. 2014 začala montáž technológie.

Logistika

Logistika zohrávala vzhľadom ku komplexnosti stavby kľúčovú úlohu. Podzemná betonárňa s dvomi miešacími jednotkami, umiestnená v kaverne KBA, dodávala kontinuálne betón na zaistovanie výrubu razených priestorov a pre betonáže konštrukcií ostení. Vzhľadom na potrebné veľké množstvo betónu bola rozhodujúcim technologickým zariadením pre plynulý postup stavebných prác. Aby sa minimalizoval počet nákladných áut v tuneli, bol na zásobovanie betonárne kamenivom využitý pásový dopravník, ktorý zostal namontovaný po vyrazení hlavného prístupového tunela. Kapacita dopravníka bola 3000 t denne a kamenivo bolo následne uskladnené v silách pri betonári.

Okrem kameniva boli z Le Châtelard cez hlavný prístupový tunel ZTH transportované k centrálnej podzemnej betonárni aj ostatné suroviny na výrobu betónu: cement, popolček, prísady, prímеси a oceľové vlákna pre striekané betóny.

Betón sa vyrábala v dvoch oddelených miešacích jednotkách a od betonárne bol dopravovaný na miesto zabudovania domiešavačmi; pre objekty v blízkosti betonárky bol transportovaný oceľovým betonárskym potrubím.

Popri zásobovaní betonárne musel byť rovnako zabezpečený odvoz výrubového materiálu, pásový dopravník sa preto využíval striedavo na obe činnosti.



Obr. 11 Raziace a zaistovacie práce kaloty strojovej kaverne KMA
Fig. 11 Excavation and installation of support in the KMA turbine hall cavern top heading

KMA turbine hall cavern

The excavation of the turbine hall placed increased demands on planning, logistics and safety with respect to its distance from portals. The work was divided into nine stages (i.e. 9 benches), down from the top heading. The cavern is 195m long, 52m high and 32m wide. The top heading profile was divided into three parts (see Fig. 11), with the excavated cross-sectional area of the central part (the so-called pilot gallery) of 83m² and the lateral widening cross-sectional areas of 44m². They were driven with the maximum distance of 25m between them.

The primary support of the top heading consisted of a 20cm thick layer of shotcrete reinforced with one layer of steel mesh and fully grouted rock bolts 32mm in diameter, spaced at 1.5x1.5m.

The secondary lining of the cavern upper vault (see Fig. 12) consisted of reinforced concrete ribs placed on reinforced concrete bearing sills serving at the same time as the support for the construction crane track. The sills were anchored by 20m long pre-tensioned anchors at the level of the first cavern excavation bench.

The excavation work in the KMA turbine hall was finished on the 07/04/2014 and the installation of equipment started from 01/05/2014.

Logistics

Logistics played the crucial role with respect to the project complexity. The underground concrete batching plant with two mixing units, which was located in the KBA cavern, continually supplied concrete for supporting the excavation of mined spaces and for casting the concrete of the lining structures. With respect to the large volume of concrete which was necessary, this technological equipment was critical for the fluent progress of construction work. A belt conveyor was used for supplying aggregates to the batching plant with the aim of minimising the number of trucks in the tunnel. It remained in place after the completion of the excavation of the main access tunnel. The capacity of the conveyor was 3000t per day and the aggregates were subsequently stored in silos at the batching plant.

Apart from aggregates, even other materials for the production of concrete (cement, fly ash, additives, admixtures and steel fibres) were transported from Le Châtelard to the batching plant through the ZTH main access tunnel.

Concrete was produced in two separate mixing units and was transported to the placement point by mixer trucks. Concrete for structures located in the vicinity of the batching plant was transported through steel concrete casting pipes.



Obr. 12 Debnenie sekundárneho ostenia kaloty kaverny KMA
Fig. 12 Formwork for the secondary lining of the KMA cavern top heading

Pre organizáciu logistiky bola zriadená centrála s pracovníkmi detailne oboznámenými s celou stavbou. Tí rozhodovali nielen o distribúcii betónu a stavebného materiálu na jednotlivé staveniská, ale aj o povoľovaní vstupu vozidiel do tunelového komplexu, a zodpovedali za ich bezpečný pohyb v podzemných priestoroch.

Navýšenie priehradného múru Vieux-Emosson o 23 m sa realizovalo v letných mesiacoch v rokoch 2013 a 2014, a bolo naň potrebných cca 62 000 m³ betónu. Vyžiadalo si vybudovanie osobitného zariadenia staveniska a samostatnej betonárne. Jej zásobovanie podliehalo tiež logistickej centrále, a bolo zabezpečované cez tri hlavné logistické štolne (ZTH, ZTE a ZTVE), nákladnými automobilmi (obr. 13).

ZÁVER

Projekt Nant de Drance je jedným z priekopníkov v začatej epoche výstavby veľkých alpských vodných prečerpávacích elektrární, ktoré sú budúcnosťou v produkcii elektrickej energie. Spolu s rozvíjajúcimi sa technológiami, využívajúcimi ďalšie obnoviteľné zdroje energie, ukazuje smerovanie švajčiarskej energetickej politiky.

Vďaka práci tunelárov môžu byť tak gigantické stavebné projekty, slúžiace aj budúcim generáciám, vykonávané s minimálnym vplyvom na životné prostredie, a bez väčšieho vizuálneho zásahu do okolitej prírody.

Ing. MARTIN MAGDOLEN, martin.magdolen@tucon.sk,
Ing. IVAN KVAŠŠAY, ivan.kvassay@tucon.sk,
TuCon, a. s.

Recenzovali: Ing. Ján Kušník, Ing. Ján Snopko



Obr. 13 Zariadenie staveniska pod päťou hrádze Vieux-Emosson, ktorej oporný múr sa navyšuje o 23 m
Fig. 13 Site arrangement under the toe of the Vieux-Emosson dam, with the dam wall height being increased by 23m

In addition to supplying materials to the batching plant, it was necessary to secure the removal of muck. The belt conveyor was therefore used alternately for both activities.

A central office manned with workers acquainted in detail with the whole construction was established for the organisation of the logistics. They decided not only on the distribution of concrete and building materials to individual construction sites, but also on permitting the access of vehicles into the complex of tunnels. They were responsible for the safe movement of the vehicles in the underground spaces.

Increasing the Vieux-Emosson dam wall height by 23m was realised during summer months of 2013 and 2014. About 62,000m³ of concrete were required for it. It claimed the development of a special construction site and an independent batching plant. Supplying materials to it was also controlled by the logistics central office. It was provided through three main logistics galleries (ZTH, ZTE and ZTVE), by trucks (see Fig. 13).

CONCLUSION

The Nant de Drance project is one of the pioneers in the beginning epoch of the development of large Alpine pumped storage plants, which are the future in the generation of electric energy. Together with the developing technologies using other renewable sources of energy, it indicates the trend of the Swiss energy policy.

Such gigantic construction projects serving even the future generations, implemented with a minimum environmental impact and without any significant visual intervention in the surrounding landscape, can be realised owing to the work of tunnellers.

Ing. MARTIN MAGDOLEN, martin.magdolen@tucon.sk,
Ing. IVAN KVAŠŠAY, ivan.kvassay@tucon.sk,
TuCon, a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Nant de Drance Pumped Storage Power Station, Switzerland [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete < <http://www.power-technology.com/projects/nant-de-drance-pumped-storage-power-station/> >
- [2] Nant de Drance [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete < <http://www.alpiq.com/what-we-offer/our-assets/hydropower/hydropower-plant-projects/nant-de-drance.jsp> >
- [3] EIN PUMPSPEICHER-KRAFTWERK IN DEN WALLISER ALPEN [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <<http://www.nant-de-drance.ch/de/projekt/allgemeine-informationen/>>
- [4] Realizačná projektová dokumentácia stavby „Pumpspeichwerk Nant de Drance“, koordinačný plán – situácia, zhotoviteľ uvedenej projektovej dokumentácie AF-Consult Switzerland AG
- [5] JUNG, S. Nant de Drance problémy při výstavbě přečerpávací vodní elektrárny 900 MW v Alpách. *Tunel*, 2013, 22. ročník, 4/2013, 122 s.