

PODMORSKÝ CESTNÝ TUNEL SOLBAKK, NÓRSKO

SOLBAKK UNDERSEA TUNNEL, NORWAY

JURAJ ANTOLÍK, MARTIN MAGDOLEN

ABSTRAKT

V prvej polovici roku 2013 boli začaté práce na výstavbe doposiaľ najdlhšieho podmorského cestného tunela na svete. Tunel Solbakk je súčasťou ambiciózneho a náročného projektu Ryfast, ktorý pozostáva z dvoch podmorských cestných tunelov (tunel Solbakk, tunel Hundvåg). Predpokladané ukončenie prác je na prelome rokov 2018 a 2019 a náklady na celý projekt by mali dosiahnuť úroveň 6,199 mld. nórskych korún (cca 753 mil. eur), pričom 90 % nákladov pokryje mýto a 10 % vládne zdroje. Vďaka tomu projektu bude zabezpečené dopravné spojenie medzi mestom Stavanger, ktoré je označované ako hlavné ropné mesto Nórska, a malým mestečkom Tau. V súčasnosti sú prepojené trajektovou dopravou alebo cestou dĺžou 70 km, ktorá obchádza záliv v Severnom mori. Tunel Solbakk bude dlhý 14,3 km. Výstavba je vzhľadom na geologické podmienky realizovaná vrtno-trhacími prácami, ktoré vykonávajú zamestnanci spoločnosti TuCon. Najhlbší bod tunela sa nachádza 290 m pod hladinou mora. Trasa povedie popod malým ostrovom Hidle, kde je naplánovaná výstavba ventilačnej šachty hlbokej viac ako 300 m. Očakávaná intenzita dopravy po vybudovaní je 4000 áut denne a 8000 áut za deň v roku 2035. Práve tieto parametre robia z tunela Solbakk najhlbší a zároveň najdlhší podmorský cestný tunel nielen v Nórsku, ale aj na celom svete.

ABSTRACT

The work on the till now world's longest undersea road tunnel commenced in the first half of 2013. The Solbakk tunnel is part of the Ryfast project, which is a project consisting of two undersea road tunnels (the Solbakk and the Hundvåg). The planned deadline for the works is the turn of 2018–2019; the cost of the entire project should amount to NOK 6.199 billion (approximately 753 million Euro), with 90% of the cost covered by the toll and 10% by governmental sources. Owing to this project, the transport connection will be provided between the towns of Stavanger, which is branded Norway's crude oil capital, and the small town of Tau. At the moment they are interconnected by a ferry transport system or by a 70km long road leading around a North Sea bay. The Solbakk tunnel will be 14.3km long. With respect to the geological conditions, the construction is being carried out by employees of TuCon, a.s., using the drill and blast method. The lowest point of the tunnel is found 290m under the sea level. The alignment will lead under a small island, Hilde, where a ventilation shaft over 300m deep will be constructed. The expected traffic flow rate after the completion and in 2035 amounts to 4000 and 8000 vehicles per day, respectively. These parameters mean that the Solbakk tunnel will be the deepest and at the same time the longest undersea road tunnel not only in Norway, but even in the whole world.

OPIS PROJEKTU

Nórske mesto Stavanger s 320 tisíc obyvateľmi je tretou najväčšou metropolitnou oblasťou v Nórsku. Vzhľadom na to, že mesto Stavanger má obmedzené možnosti v oblasti občianskej výstavby, pristúpil investor k vybudovaniu dopravného prepojenia s mestom Tau (obr. 1), ktoré disponuje dostatkom priestoru na nové byty a súvisiacu infraštruktúru. To si vyžaduje krátke a nepretržité dostupné spojenie pre nových obyvateľov mesta Tau, ktorí pracujú v Stavangeri (obr. 2).

Firma Norconsult ukončila projekčné práce na jar 2012 a na jeseň 2012 sa začal výber na zhotoviteľa stavby pre projekt Ryfast. Výberové konanie vyhralo združenie stavebných spoločností – nórskej AF Gruppen a švajčiarskej Marti Contractors, ktorá má na výstavbe zastúpenie firmami Marti Contractors Ltd, IAV hf, Marti Norge, a. s. a TuCon, a. s. zo Žiliny. Projekt Ryfast je tvorený dvomi cestnými tunelmi – Solbakk a Hundvåg. Obidva pozostávajú z dvoch tunelových rúr, ktoré majú dva jazdné pruhy. Každých 250 metrov sa striedavo v dvoch tunelových rúrach rozširuje profil kvôli bezpečnostným zálivom pre núdzové zastavenie vozidiel (obr. 3). V týchto miestach je úniková chodba, ktorá priečne prepája oba tunely, dlhá 9 metrov.

Solbakk je dlhý 14,3 km a po dokončení spojí trajektový prístav v meste Tau (obr. 4) s ostrovom Hundvåg. Očakávaná intenzita dopravy po vybudovaní je 4000 áut denne a 8000 áut za deň v roku 2035. Najhlbší bod tunela sa nachádza 290 m pod hladinou mora. Trasa povedie pod malým ostrovom Hidle, kde je naplánovaná výstavba ventilačnej šachty vysokej viac ako 300 m. Práve tieto parametre robia z tunela Solbakk najhlbší a zároveň najdlhší podmorský cestný tunel nielen v Nórsku, ale aj na celom svete.

PROJECT DESCRIPTION

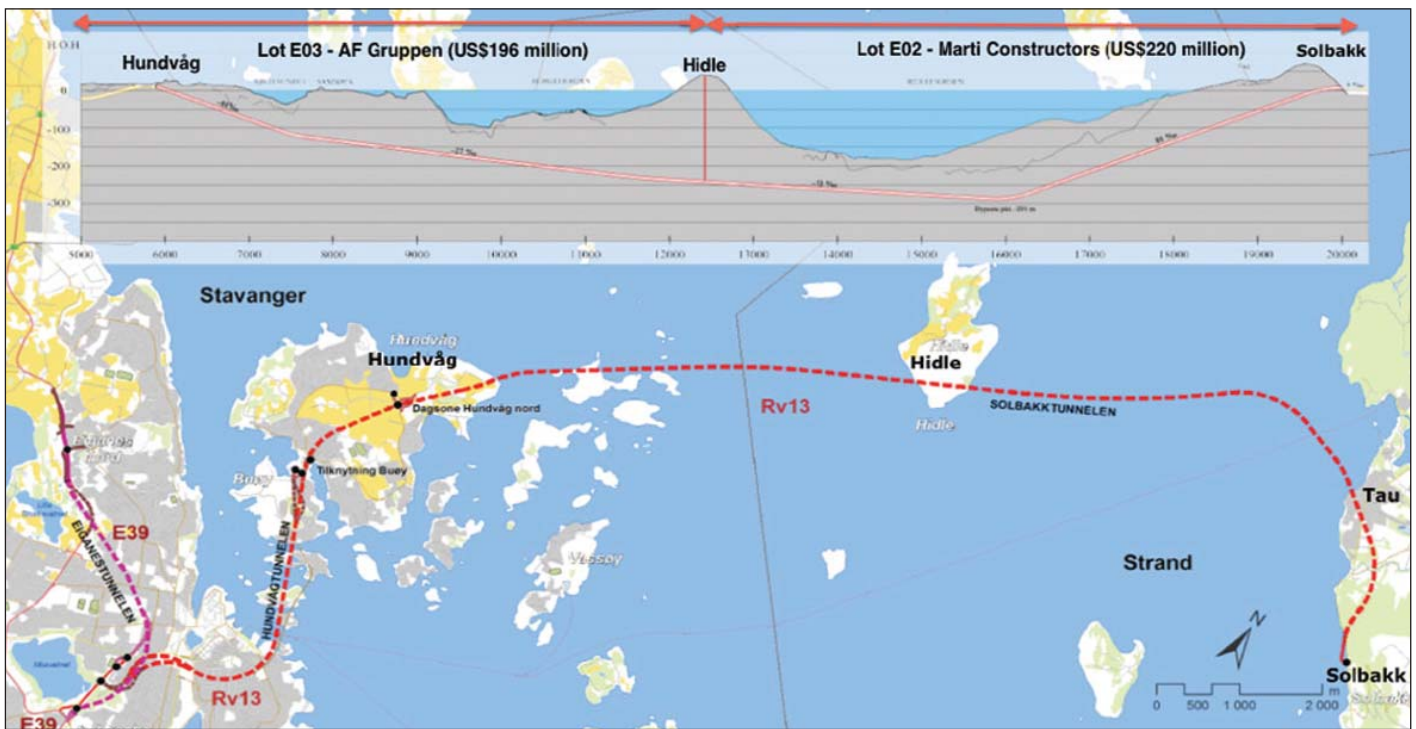
The Norwegian city of Stavanger with the resident population of 320 thousand is the third metropolitan area in Norway. With respect to the fact that the capacity of the city of



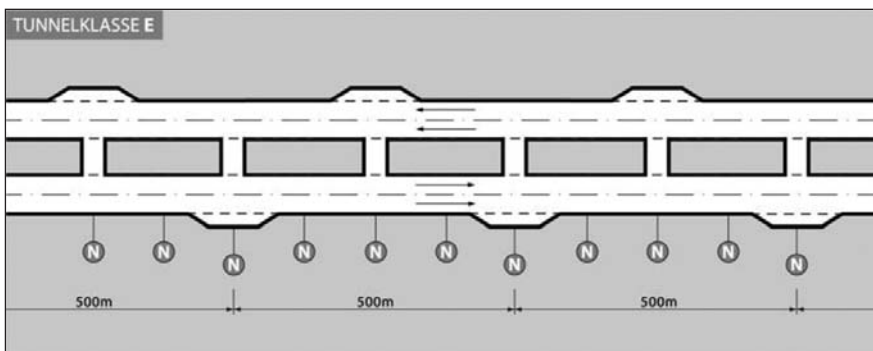
Foto/Photo TuCon

Obr. 1 Prvý záber pri začatí razenia tunela pri meste Tau

Fig. 1 Initial round of the excavation of the tunnel near the town of Tau



Obr. 2 Projekt Ryfast – pozdĺžny profil a mapa plánovaného podzemného prepojenia
Fig. 2 Ryfast Project – longitudinal section and map of the planned underground connection



Obr. 3 Núdzové zálivky s priečnym prepojením, N - SOS výklenek
Fig. 3 Emergency stopping bays with cross passages, N - SOS niche

Druhým, kratším tunelom s dĺžkou 5,5 km je Hundvåg, ktorý sa pripája k Solbakku na rovnomennom ostrove Hundvåg. Odtiaľ vedie jeho trasa do Stavangeru, kde sa napája na cestný tunel Eiganes, ktorý je súčasťou diaľnice E39. Odhadovaná intenzita dopravy po dokončení celého projektu v roku 2019 je 10 000 áut denne a 25 000 áut za deň v roku 2035. Najhlbšie miesto tohto tunelu sa nachádza 95 m pod hladinou mora.

PROCES VÝSTAVBY

Výstavba je vzhľadom na geologické podmienky realizovaná vrtno-trhacími prácami, ktoré vykonávajú zamestnanci spoločnosti TuCon. Geológia tunela sa skladá z dvoch celkov; na východnej strane ju tvorí tvrdá rula a približne v polovici tunela smerom na západ sú obsiahnuté mäkkšie fylity. Na dodržanie kvality dohliada nórsky štátny orgán Statens vegvesen, ktorý určuje výrubové triedy a s tým súvisiace zaistenie tunelov (rozmiestnenie a dĺžka kotiev a hrúbka striekajúceho betónu). Celý tunel je rozdelený na štyri výrubové triedy (Tab. 1), kde v triede 1 až 3 je dĺžka záberu 5 m a vo výrubovej triede 4 je dĺžka záberu 3 m. V súčasnosti zamestnanci spoločnosti TuCon od mesta Solbakk vyrazili viac ako 3,5 km v tunelovej rúre B (vľavo) a viac ako 3,4 km v tunelovej rúre A (vpravo).

Jedným z krokov v cyklickom procese razenia je inštalácia skalných kotiev. Na stavbe majú slovenskí odborníci

Stavanger in the field of community amenities is limited, the investor decided to develop transport connection with the town of Tau (Fig. 1), which has got sufficient space for new dwellings and the infrastructure associated with them. This solution requires a short and uninterrupted connection for the new residents of the town of Tau who work in Stavanger (Fig. 2).

The company of Norconsult finished the work on the design in spring 2012 and the Ryfast project contractor procurement started in autumn 2012. The competition was won by a consortium of construction companies consisting of Norway-based AG Gruppen and Switzerland-based Marti Constructors, which is represented by Marti Constructors Ltd, IAV hf, Marti Norge, a. s. and Žilina-based TuCon, a. s. The Ryfast project is formed by two road tunnels - the Solbakk and the Hundvåg. Each of them consists of two double-lane tunnel tubes. The tunnel cross-section is enlarged every 250 metres alternately in one and the other tunnel tube for the purpose of emergency stopping bays (Fig. 3). There are 9 metre long cross passages in these locations, allowing for the escape.

The Solbakk tunnel is 14.3km long and, after completion, it will connect the ferry harbour in the town of Tau (see Fig. 4) with the island of Hundvåg. The anticipated traffic flow rates after the completion and in 2035 are 4000 vehicles per day and 8000 vehicles per day, respectively. The deepest tunnel point is located 290m under the sea surface. The route will lead under Hilde, a small island, where the construction of an over 300m high ventilation shaft is planned. These parameters make the Solbakk tunnel the deepest and at the same time longest under-sea road tunnel not only in Norway but also in the world.

The other, shorter, tunnel is the 5.5km long Hundvåg, which is connected to the Solbakk tunnel on the island of the same name, Hundvåg. From this place, its route leads to Stavanger, where it connects to the Eiganes road tunnel, which is part of the E39 motorway. The estimated traffic flow rates after the completion of the entire project in 2019 and in 2035 are 10,000 and 25,000 vehicles per day, respectively. The deepest point is located 95m under the sea surface.

The other, shorter, tunnel is the 5.5km long Hundvåg, which is connected to the Solbakk tunnel on the island of the same name, Hundvåg. From this place, its route leads to Stavanger, where it connects to the Eiganes road tunnel, which is part of the E39 motorway. The estimated traffic flow rates after the completion of the entire project in 2019 and in 2035 are 10,000 and 25,000 vehicles per day, respectively. The deepest point is located 95m under the sea surface.

Tab. 1 Rozdelenie výrubových tried

Table 1 Distribution of excavation support classes

výrubová trieda excavation support class	SK1 SK1	SK2 SK2	SK3 SK3	SK4 SK4
aktuálny percentuálny pomer vyrazených dĺžok výrubových tried tunela current percentage of the lengths completed in particular excavation support classes	1 % 1%	38 % 38%	56 % 56%	5 % 5%
dĺžka záberu excavation round length	5 m 5m	5 m 5m	5 m 5m	3 m 3m
hrúbka striekaného betónu shotcrete thickness	8 cm 8cm	8 cm 8cm	10 cm 10cm	15 cm 15cm
dĺžky kotiev lengths of rockbolts	3 m 3m	3 m 3m	3 m 3m	4 m 4m

k dispozícii najmodernejšie vŕtacie súpravy – dve väčšie trojlafetové – Sandvik DT1131i a dve menšie – dvojlafetové Sandvik DT921i. V oboch tunelových rúrach sa používajú dve súpravy – jedna veľká a jedna malá. Všetky štyri vŕtacie stroje sú vybavené systémom iSURE, pre monitorovanie vŕtacích prác (obr. 5). Systém poskytuje špecifické riadenie a vedenie jednotlivých vŕtacích a trhacích prác pre zabezpečenie optimálne nízkych nákladov a plynulého postupu razeňa. Systém sa skladá zo štyroch modulov. Zo základného (iSURE Tunnel), ktorý obsahuje dokumenty projektu. Typ konštrukcie teoretického profilu je možné vykonať manuálne, alebo sa vyberie zo štandardných profilov v pamäti, prípadne je možné načítať profily vo formáte DXF. Druhý modul (iSURE Report) poskytuje skutočné informácie všetkých fáz procesu práve prebiehajúceho vŕtania. Tretí modul (iSURE Analysis) vykonáva zber dát pri vŕtaní a následne analyzuje štruktúru a vlastnosti horniny. Modul dokáže z vyzbieraných dát vytvoriť vizualizáciu povrchu skaly v reálnom čase v 3D. Vŕtací modul (iSURE Bolting) umožňuje použitie jedného stroja na vŕtanie viacerých otvorov súčasne. Na základe získaných informácií na týchto štyroch moduloch je možné monitorovať zmeny v kvalite horniny, ktoré súvisia s rýchlosťou penetrácie, zručnosťou a výkonnosťou vŕtačov, alebo aktuálny stav vrtnéj súpravy (napr. spotreba vrtného náradia).

Vrty pre skalné kotvy sú realizované dvomi väčšími vŕtacími súpravami. Uchytenie kotiev v skalnom masíve je zabezpečené v prvom momente mechanicky – rozperkou, ktorá sa po dotiahnutí matice na konci kotvy rozopne do horniny (kotvy sú okamžite únosné). Neskôr, až za vrtným strojom, kvôli urýchleniu prác na čelbe, sa kotvy injektujú maltou, tzn., že sa vyplní celá dĺžka vrtu, v ktorom je kotva osadená. Potom je zaťaženie prenášané aj trením medzi vytvrdnutou maltou a stenou vývrtu (horninou). Tieto kotvy sa nazývajú



Obr. 4 Vizualizácia budúceho portálu pri meste Tau

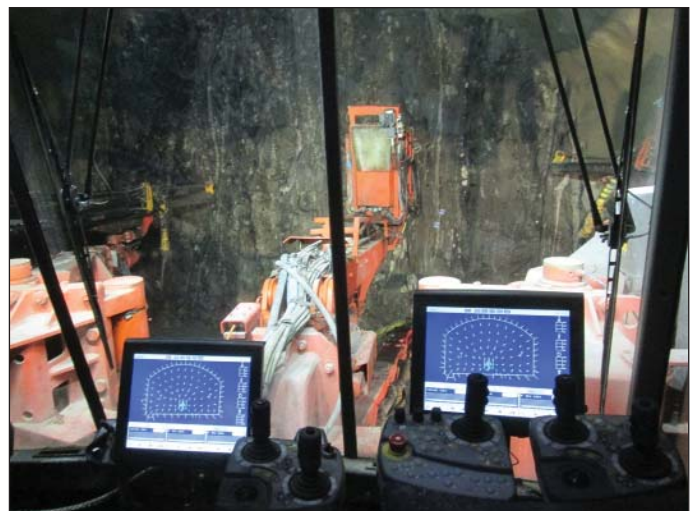
Fig. 4 Visualisation of the future tunnel portal near the town of Tau

zdroj/source www.tuneltalk.com

CONSTRUCTION PROCESS

With respect to the geological conditions, the construction is realised using the drill and blast technique, by TuCon employees. The tunnel geology consists of two blocks; on the eastern side it is formed by hard gneiss, whilst softer phyllite is approximately in the middle of the tunnel and further toward the west. The observance of quality requirements is supervised by the Norwegian state authority, the Statens vegvesen. It determines the excavation support classes and the support associated with them (the spacing and lengths of rock bolts and the thickness of shotcrete layers). The entire tunnel is divided into four excavation support classes (see Table 1), where the excavation round length of 5m is prescribed for classes 1 – 3, whilst the length of 3m is prescribed for class 4. Till now, TuCon employees completed the excavation of over 3.5km of tunnel tube B (on the left side) and 3.4km of tunnel tube A (on the right side).

One of the steps in the cyclical excavation process is the installation of rock bolts. Slovak professionals have state-of-the-art drilling rigs available at the site – a pair of bigger Sandvik DT1131i triple-boom sets and two smaller Sandvik DT921i twin-boom sets. Two sets, one big and one small, are used in each tunnel tube. All of the four drilling sets are equipped with the iSURE system for the monitoring of the drilling and blasting operations (see Fig. 5). The system provides specific management and guidance for individual drilling and blasting operations for ensuring optimally low costs and fluent advancing of the excavation. The system consists of four modules. The basic module (iSURE Tunnel) contains the design documents. The type of the theoretical cross-section structure can be set manually or is selected from standard



Foto/Photo TuCon

Obr. 5 Pohľad z vrtného vozu pri automatickom vŕtaní čelby

Fig. 5 A view from the drill rig during automatic drilling into the excavation face

kombinované kotvy (CT bolts), pretože sa využíva kombinácia prenosu zaťaženia najskôr rozperkou a potom kombináciou prenosu cez rozopnutú rozperku a trením na povrchu vývrty a výplňovej malty. Inštalácia kotiev je vykonávaná z pohyblivej plošiny, ktorou sú opatrené vyššie spomínané vrtacie súpravy. Potom sa pristupuje k vrtaniu dier pre nálož a ich následné plnenie. Vrty sa realizujú taktiež trojlafetovými vrtacími strojmi. V tomto kroku je potrebná prítomnosť skúseného operátora, ktorý po ukotvení stroja spustí automatické vrtanie dier a dokáže vrtať súčasne s tromi lafetami, čím sa dosiahne urýchlenie procesu výstavby. Po dokončení sa do jednotlivých dier nainštalujú rozbušky podľa vrtného plánu a každý vrt je následne vyplnený výbušnou emulziou (plnivom) (obr. 6). Na trhacie práce sa používajú neelektrické rozbušky typu Nonel, ktoré sa spoja bleskovicou a tá je odpálená elektrickou rozbuškou z bezpečnej vzdialenosti, čo je obyčajne najbližšia prerážka (úniková spojovacia chodba). Keď sa rozbušky pripoja na bleskovicu a dodržia sa bezpečnostné opatrenia súvisiace s kontrolou tunela, strelmajster odpáli čelbu, a za pár sekúnd sa uvoľní niekoľko sto m³ horniny. Po odpale začne vetranie v oboch tuneloch pracovať na 100 %. Je to spôsobené vibračným senzorm, ktorý dá po explózii signál ventilátoru o zmene výkonu. Oba ventilátory sú umiestnené pred portálmi tunelov. Vibračný senzor je osadený spolu s ďalšími dvomi senzormi, monitorujúcimi kvalitu vzduchu na transformátore, ktorý je najbližšie k čelbe, a je z neho napájaná vrtná súprava. Vždy, keď stúpne koncentrácia oxidu uhľnatého a oxidu dusičitého nad neprípustnú hranicu, zvýši sa výkon ventilátorov, čím stúpne objem čerstvého vzduchu v tuneloch. Tento systém reguluje kvalitu vzduchu automaticky, bez akéhokoľvek zásahu. Informácie o stave ovzdušia v podzemí a aktuálnom stave cirkulácie vzduchu sú bezdrôtovo prenášané do počítača. Súčasťou systému je aj monitoring požiarneho alarmu a monitoring pohybu pracovníkov v podzemí, pretože každý zamestnanec pracujúci v podzemí má pridelený vlastný čip, cez ktorý je monitorovaný, aby sa v prípade mimoriadnej udalosti (požiar, zával) vedelo zistiť, či niekto zo zamestnancov po evakuácii ešte zostal v tuneli, alebo nie.

Po ustálení koncentrácie spomínaných plynov na normálnych hodnotách nasleduje odtážba uvoľnenej horniny. Tá je realizovaná pomocou šiestich moderných kolesových nakladačov (5 x Volvo L250G + 1 x Volvo L350F), ktoré odvádzajú rúbaninu na medziskládku, alebo sú na dopravu použité klbové dampre (3 x Volvo A35G + 2 x Volvo A30G). Pre plnenie drviča materiálom z medziskládky je postačujúci jeden menší nakladač L250G. Čelustový drvič s výkonom 350 t/h má samostatný pásový podvozok, aby mohol nasledovať razenie k poslednej prerazenej spojovacej chodbe, a tým obmedziť vzdialenosť od čelby maximálne na 250 m (obr. 7). Použitie pásového dopravníka na transport rúbaniny umožňuje odľahčenie dopravných ciest a umožňuje realizáciu paralelných činností v procese výstavby tunela. Rozdrvená hornina sa ďalej transportuje pásovým dopravníkom pred portál a sype sa priamo do mora (obr. 8). Týmto spôsobom sa umelo rozširuje breh násypu, na ktorom bude po dokončení stavby kruhový objazd a dve dvojpruhové cestné komunikácie. Pásový dopravník je schopný presunúť 500 t/h rýchlosťou 3 m/s. Maximálna plánovaná dĺžka pásového dopravníka z tunela je 7770 m, mimo tunela 470 m, a plávajúce otočné rameno pásového dopravníka na pontóne je dlhé 37 m.

Na mori, v okolí novovznikajúceho brehu, je umiestnená zábrana zo sietí. Jej funkciou je ochrana pred šírením odpadu, ktorý je obsiahnutý vo vyťaženej rúbanine. Ide predovšetkým o plastové zvyšky rozbušiek (detonačné trubičky). Ihneď po sprístupnení čelbovej časti sa začína s obtrhávaním povrchu horniny kvôli odstráneniu nestabilných skalných blokov. Najskôr je realizované mechanické obtrhávanie pomocou pásového rýpadla s hydraulickým kladivom. Potom nasleduje ručné obtrhávanie vykonávané z pohyblivej plošiny pomocou



Foto/Photo TuCon

Obr. 6 Plnenie vývrtov emulznou trhavinou
Fig. 6 Filling blast holes with emulsion explosive

cross-sections in the memory, or it is possible to retrieve the cross-sections in DXF format. The second module (iSURE Report) provides current information from all phases of the just running drilling process. The third module (iSURE Analysis) carries out the collection of data during the course of drilling and, subsequently, analyses the rock structure and properties. The module is capable of creating the 3D visualisation of the excavated opening surface on the basis of the collected data in real time. The drilling module (iSURE Bolting) allows for the application of one set to drilling of more holes simultaneously. The changes in rock quality associated with the penetration rate, the skill and performance of drilling crews or the current condition of the drilling rig (e.g. drilling tools) can be monitored on the basis of the information obtained from the above-mentioned four modules.

Holes for rock bolts are drilled using the two smaller drilling rigs. In the beginning, rock bolts are stabilised in the rock mass by means of a dowel, which expands against the rock after the nut at the bolt end is tightened (the load-bearing capacity of the bolts is immediately activated). Later, behind the drilling rig, the bolts are encapsulated by grout injected along the entire length of the hole in which the bolt is installed, with the aim of accelerating the work at the heading. After that, the load is carried even by friction between the hardened grout and the drill-hole wall (the rock). These rock bolts are denominated combined bolts (CT bolts) because they are based on the combination of transferring load first of all by the dowel and then on the combination of the transfer through the expanded dowel and the friction between the hole wall surface and the filling grout. The rock bolts are installed from movable platforms, which are mounted on the above-mentioned drilling rigs. Subsequently, blast holes are carried out to be charged. The holes are also carried out using the triple-boom drilling rigs. In this step, the presence of an experienced operator is necessary. After the anchoring of the drilling rig is finished, the operator must start the automatic process of drilling the holes simultaneously by three booms to accelerate the construction process. After the completion, detonators are installed in individual blastholes according to the drilling pattern and each hole is subsequently filled with emulsion explosive (the filling) (see Fig. 6). NONEL-type non-electric detonators are used for the blasting operations. They are interconnected by a detonating fuse, which is subsequently fired by a non-electric detonator from a safe distance, usually from the closest cross passage. When the detonators are connected to the detonating fuse and the safety measure relating to the tunnel inspection is adhered to, the shot firer fires the



Foto/Photo TuCon

Obr. 7 Pohľad na drvič s pásovým dopravníkom umiestnený v tunelovej rúre B
Fig. 7 A view of the crusher with the belt conveyor installed in tunnel tube B

obtrhávacích tyčí, na konci opatrených oceľovými dlátami. Po úplnom očistení sa profil kontroluje z dôvodu dodržania stanovených rozmerov. Technici overujú presnosť pomocou totálnej stanice Leica a skenera. Ďalším krokom je zaistenie primárneho ostenia tunela. To tvorí striekaný betón vystužený vláknami (nad hladinou mora oceľovými, pod hladinou mora plastovými), ktorý je aplikovaný mokrým spôsobom (obr. 9). Znamená to, že do striekačky sa pumpuje pripravený hotový betón, do ktorého sa pridáva urýchľovač tuhnutia, a pomocou stlačeného vzduchu sa aplikuje na ostenie. Vo všetkých častiach tunelov je pravidelne vykonávaná kontrola kvality striekaného betónu. Overuje sa hrúbka vrstvy, jeho pevnosť a spojenie s horninou. Kontrola je realizovaná pomocou jadrových vrtov a „boom testu“ (oklepávanie povrchu striekaného betónu kladivkom, alebo oceľovou tyčou, za účelom zistenia kvality priľnavosti striekaného betónu na povrch výlomu. Zisťuje sa, či sú duté miesta medzi striekaným betónom a horninou).

V extrémne nevhodných geologických podmienkach sa pre stabilitu horninového masívu používajú aj oceľové oblúky, ktoré sú do horninového masívu pripevnené pomocou samozávrtných skalných kotiev. Následne prichádza na rad príprava čelby na ďalšie vrtanie, čo predstavuje očistenie dna od prípadnej uvoľnenej horniny alebo striekaného betónu. Po očistení čelby po každých 15 metroch nasleduje vrtanie štyroch prieskumných vrtov dlhých 25 m priemeru 54 mm. Potom sa monitoruje množstvo prítoku vody z týchto otvorov. Podľa jej množstva sa vyhodnocuje ďalší postup. V prípade žiadneho alebo minimálneho prítoku pokračuje cyklický proces razenia tunela. Ak je



Foto/Photo TuCon

Obr. 8 Pohľad na výšpnú plávajúcu časť pásového dopravníka
Fig. 8 A view of the discharging floating part of the belt conveyor

charges in the excavation face. They disintegrate several hundreds of m^3 of rock in an instant. After the blast, the ventilation starts to work at 100% in both tunnel tubes. It is initiated by a vibration sensor, which gives signal to the fan to change the output. Both fans are located in front of the tunnel portals. The vibration sensor is installed, jointly with other two sensors monitoring the quality of air, on the transformer which is closest to the excavation face and which feeds the drilling set. The output of the fans is increased always when the content of carbon monoxide and nitrogen dioxide exceeds the permitted level, the output of fans increases, thus the volume of fresh air in the tunnels grows. This system regulates the quality of air automatically, without any intervention. The information about the condition of the tunnel atmosphere and the current state of the air circulation is transferred wireless to the computer. The monitoring of fire alarms and monitoring of the movement of workers in the underground is part of the system. Each employee working in the underground is assigned his or her own chip through which they are monitored so that it is possible to determine in the case of an emergency (a fire, a tunnel collapse) whether an employee working in the underground remained in the tunnel after the evacuation.

When the concentration of the above-mentioned gases stabilises at normal levels, the disintegrated rock is loaded. The loading is carried out using six modern wheeled loaders (5 x Volvo L250G + 1 x Volvo L350F), which move the muck to an intermediate stockpile, or articulated dumpers are used for the transport (3 x Volvo A35G + 2 x Volvo A30G). One smaller loader L250G is sufficient for feeding the material from the intermediate stockpile to a crusher. The jaw crusher with the output of 350t/h has an independent tracked undercarriage so that it can follow the excavation in the last completed cross passage, thus to maximally restrict the distance from the excavation face to 250m (see Fig. 7). The use of a belt conveyor for moving the muck allows for relieving the transport routes and allows parallel activities in the tunnel construction process to be carried out. The crushed rock is further transported on the belt conveyor to the portal, from which it is poured directly to the sea (see Fig. 8). In this way, the bank of the embankment on which a roundabout and two double-lane roads will be built after the works completion will be artificially widened. The belt conveyor is capable of moving muck at the rate of 500t/h at the velocity of 3m/s. The maximum planned length of the belt conveyor through the tunnel and beyond the tunnel amounts to 7700m and 470m, respectively; the rotary arm of the belt conveyor floating on a pontoon is 37m long.

A barrier formed by nets is installed in the sea, in the vicinity of the newly originating bank. Its function is to prevent the spreading of the spoil which is contained in the muck being deposited, first and foremost the plastic remains of detonators (detonation tubes). The rock surface scaling operation commences immediately after the heading is accessible with the aim of removing instable blocks of rock. Subsequently, mechanical scaling is carried out using a tracked excavator with a hydraulic hammer. Then manual scaling carried out from a movable platform follows, using scaling rods with steel chisels fixed to their ends. When the scaling operation is completely finished, the profile is checked so that the prescribed dimensions are adhered to. Technicians verify the accuracy by means of a Leica total station theodolite and a scanner. The installation of the tunnel primary lining follows. It is formed by fibre reinforced shotcrete (steel fibres above the sea surface and plastic wires underneath). The wet spraying process is applied (see Fig. 9). It means that pre-prepared wet concrete is pumped to the



Foto/Photo TuCon

Obr. 9 Oplachnutie výrubu vodou a následné striekanie vláknobetónu
Fig. 9 Sprinkling the excavation with water and subsequent application of fibre-reinforced shotcrete

prítok z jedného vrtu väčší ako 2 l za min., alebo súčet prítokov všetkých štyroch vrtov je viac ako 5 l za min., je nutné pristúpiť k injektáži horninového prostredia. Najskôr sa vyvrtávajú injektážne vrty dlhé 25 m priemeru 54 mm pomocou dvojlafetovej vrtnej súpravy. Do nich sa osadia tyče s obturátormi a cez ne je tlačaná do okolitého horninového prostredia injektážna zmes na báze cementu pod tlakom 80 barov. Injektážny tlak stanovuje investor. Injektáž spôsobí vytlačenie vody z horniny a vyplnenie voľných priestorov a puklín. Všetky vrtacie parametre sú automaticky zaznamenávané. Injektovanie je vykonávané automatickou injektážnou súpravou so štyrmi čerpacími linkami pre súbežnú injektáž. Systém ukladá a vyhodnocuje všetky potrebné informácie (napr. množstvo použitej zmesi pre jednotlivé vrty). Týmto spôsobom vznikne po zatuhnutí nad budúcim dielom nepriepustný dáždnik.

ZÁVER

Realizácia tohto technicky náročného diela v horninách pod hladinou mora kladie vysoké nároky na dobrú organizáciu prác a na výber i nasadenie skúsených a kvalifikovaných pracovníkov.

Spoločnosť TuCon pôsobí v Nórsku od roku 2011, odkedy sa spolupodieľa na výstavbe železničného tunela Snekkestad. Po Grónsku a Islande je tak Nórsko ďalšou severskou krajinou, kde sa spoločnosť TuCon presadzuje.

Ing. JURAJ ANTOLÍK, juraj.antolik@tucon.sk,
Ing. MARTIN MAGDOLEN,
martin.magdolen@tucon.sk, TuCon, a. s.

Recenzovali: Ing. Miloslav Frankovský,
 Ing. Martin Tomeček

spraying machine, where setting accelerator is added to it and the mixture is pneumatically applied to the exposed rock surface. The shotcrete quality is regularly checked in all parts of the tunnels. The checking covers the thickness of the shotcrete layer, the strength and the bond to substrate. The checks are carried out by rotary coring and by a "boom test" (tapping on the shotcrete surface with a hammer or a steel rod to determine the bond of the shotcrete to the excavated opening surface). The objective is to determine whether there are voids between the shotcrete and the rock surface).

In extremely unsuitable geological conditions, steel arches are used to ensure the rock mass stability. They are fixed to the rock by self-drilling rock bolts. Subsequently there is the turn of the preparation of the heading for the new drilling operation, which means clearing contingent rock debris or shotcrete away from the bottom. After the heading is clear, 25m long and 54mm-diameter probe holes are drilled every 15 metres. Then the rate of water inflow from these holes is monitored. The next process is assessed taking into consideration this rate. If the inflow rate is zero or minimal, the cyclical tunnel excavation continues. If the rate of the inflow from one borehole exceeds 2 litres per minute, or the summary of inflows from all four boreholes exceeds 5 litres per minute, it is necessary to proceed to the ground mass grouting. In the first step, 25m long and 54mm-diameter grouting holes are carried out using the twin-boom drill rig. Rods with packers are inserted into them and the cement-based mixture is pressed through them into the surrounding ground mass under the pressure of 80bar. The grouting pressure is determined by the client. The grout expels water from the ground and fills voids and fissures. All drilling parameters are automatically recorded. The grouting is carried out using an automatic grouting set with four pumping lines allowing for simultaneous grouting. The system stores and assesses all the information necessary (e.g. the amount of the mixture applied to individual grouting holes). In this way, an impermeable canopy originates over the future structure after the grout sets.

CONCLUSION

The realisation of this technically complicated structure in rocks under the sea surface puts high demands on good organisation of work and the selection of experienced and qualified workers.

The company of TuCon has operated in Norway since 2011, from the time when it started to participate in the construction of the Snekkestad railway tunnel. Norway is the next Nordic country after Greenland and Iceland where TuCon gains ground.

Ing. JURAJ ANTOLÍK, juraj.antolik@tucon.sk,
Ing. MARTIN MAGDOLEN,
martin.magdolen@tucon.sk, TuCon, a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Eiganes tunnel / Ryfast Worlds longest sub-sea road-tunnel, a city tunnel, and a sub-sea city-tunnel [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <http://www.vegvesen.no/_attachment/352798/binary/612252?fast_title=Ryfast+presentation+in+english.pdf>
- [2] The first conveyor belt system in Norwegian tunneling [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <http://www.martitechnik.com/en/..%5CPDF%5Cf%C3%B6rdertechnik%5Csolbakk%5CSolbakk_en.pdf>
- [3] Sandvik iSURE – A Revolution in Precision, Tunneling project management software [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <http://www.understandingunderground.sandvik.com/wp-content/uploads/2012/05/iSURE_brochure_2013.pdf>
- [4] Projektová dokumentácia: Tunel Solbakk, STATENS VEGVESEN