NORSBORG – PODZEMNÉ DEPO METRA V ŠTOKHOLME
NORSBORG – STOCKHOLM METRO UNDERGROUND DEPOT

PETER BALUŠÍK, ONDREJ VIDA, PETER FERANČÍK

ABSTRAKT

Projekt podzemného depa Norsborg v Štokholme je momentálne najväčším podzemným projektom vo Švédsku. Tak rozsahom raziacich prác v podzemí, zložitosťou systému podzemných kaverien, tunelov a prepojení, ako aj polohou v intraviláne mestskej časti Štokholmu je projekt výzvou pre organizáciu výstavby, samotné raziace práce a v neposlednom rade i geodetickú službu. Veľký rozsah vrtných, trhacích prác a objemu vyvážanej horniny v krátkom čase a pri dodržaní všetkých obmedzení súvisiacich s blízkosťou obytnej zóny vyžaduje profesiálny prístup na všetkých úrovniach projektu – od investora, projektanta až po posledného tunelára v osádke. Zároveň je projekt i stretom dvoch rozličných tunelárskych prístupov v konfrontácii Novej rakúskej tunelovacej metódy (NRTM) a Nórskej tunelárskej metódy (NTM), preferovanej firmou Skanska Sverige, pričom razenie prebieha podľa zásad NTM. Každá z týchto metód je postavená na rozdielnych základoch, preto je tento stret „kultúr" veľmi zaujímavým obohatením tak pre slovenských, ako aj pre švédskych kolegov.

ABSTRACT

The project for the Norsborg underground depot for the Stockholm metro is currently the largest underground construction project in Sweden. The project presents a challenge to the works organisation, the tunnelling operations themselves and the survey service in terms of both the extent of the underground excavation work, the complexness of the system of underground caverns, tunnels and cross passages, as well as its location within the urban area of Stockholm. The large extent of drilling and blasting work and the volume of ground to be carried from the underground during a short period, complying with all restrictions associated with the close proximity of a residential zone, requires a professional attitude at all project levels – from the project owner and the designer to the last member of the tunnelling crew. At the same time, the project presents a clash between two different tunnelling approaches, where the New Austrian Tunnelling Method (the NATM) is confronted with the Norwegian Tunnelling Method (the NTM), which is preferred by Skanska Sverige, with the NTM principles being applied to the excavation. Each of the methods is based on different foundations, which is the reason why this clash between "cultures" is very interesting enrichment for Slovak as well as Swedish colleagues.

ÚVOD

Projekt Norsborgdepån E2 je druhým podzemným projektom v intraviláne hlavného mesta Švédska realizovaným za spolupráce Skanska Sverige AB a Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK. Prvým v poradí bol projekt Norra Länken NL11 (severný obchvat Štokholmu), o ktorom bol článok v tomto časopise č. 3/2011.

Projekt NorsborgdepĆn sa skladá z dvoch častí:

- E1 – konečná stanica červenej linky metra v Štokholme. Táto časť je prakticky celá realizovaná na povrchu a skladá sa z budovy samotnej konečnej stanice spolu s veľkým parkovacím domom a napojením na infraštruktúru mestskej časti Norsborg.
- E2 – podzemné depo na konci červenej linky metra v Štokholme, skladajúce sa z troch podzemných lodí, ktoré budú slúžiť na parkovanie, údržbu a umývanie vozňov metra (obr. 1).

Investorom projektu je SL (AB Storstockholms Lokaltrafik = mestská hromadná doprava „veľkého" Štokholmu), časť E1 je realizovaná spoločnosťou NCC a časť E2 spoločnosťou Skanska Sverige AB, Stora Project – Undermark Projekt, pričom raziace a geodetické práce vykonáva Skanska SK a. s. – Závod Tunely SK.

OPIS PROJEKTU A POSTUP PRÁC

Základné parametre podzemného depa:

- dĺžka razenia cca 2 900 m
- plocha výrubu od 20 m^2 – 180 m^2
- parametre hlavných kaverien:
  - Huvudtvärtunnel 125–160 m^2 100 m
  - Uppstallningstunnel 1 160–250 m^2 400 m
  - Uppstallningstunnel 2 160–220 m^2 300 m
  - Uppstallningstunnel 3 130–170 m^2 450 m
  - Drifttunnel 31–220 m^2 160 m

INTRODUCTION

The Norsborgdepån E2 project is the second underground construction project realised within the urban area of Stockholm, the capital of Sweden, by Skanska Sverige AB collaborating with SKANSKA SK a. s. – Závod Tunely SK plant. The first in the sequence was the Norra Länken NL11 project (the northern Stockholm by-pass), which was the topic of a paper published in this journal issue No. 3/2011.

The Norsborgdepån project consists of the following two parts:

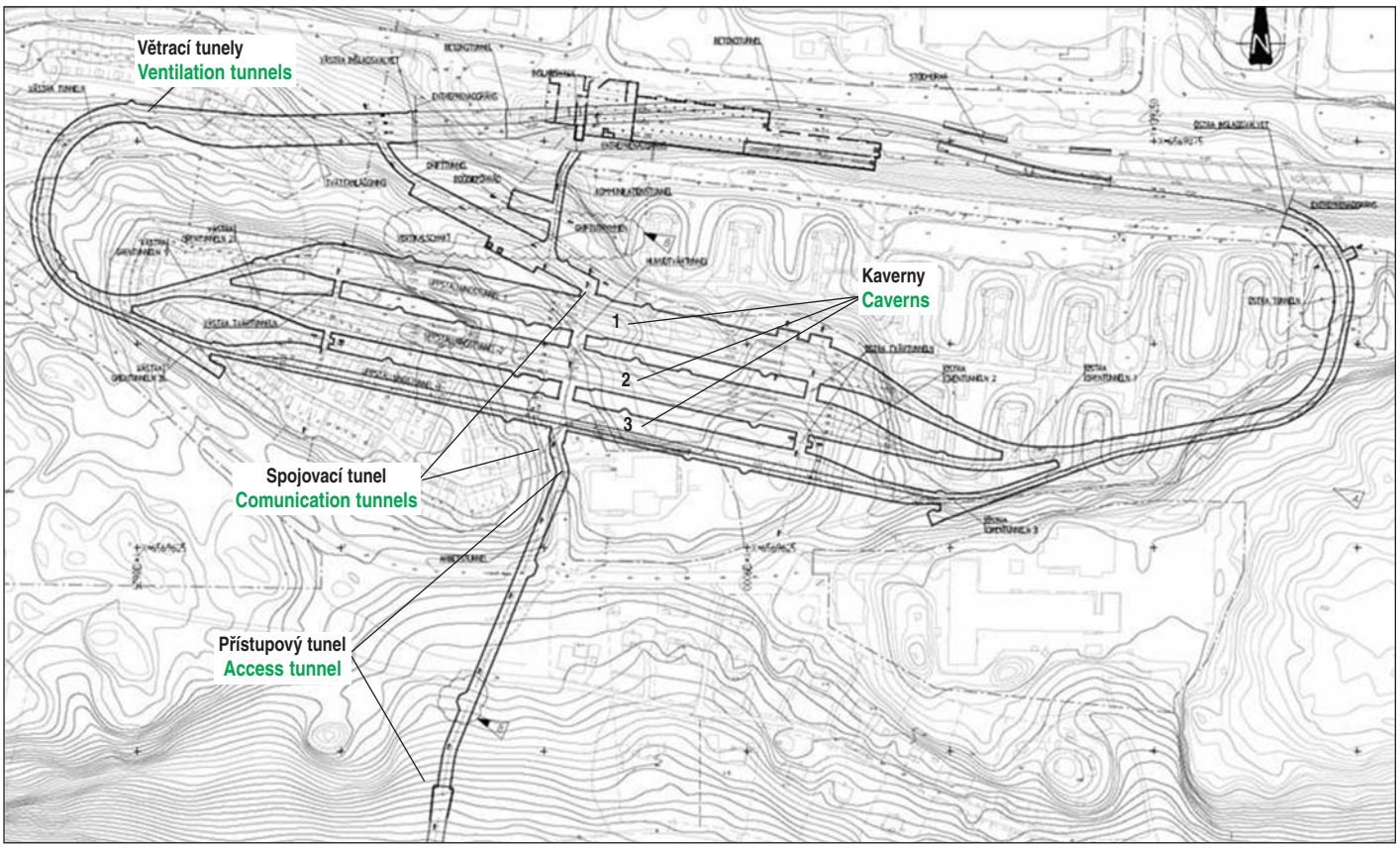
- E1 – the terminus of the metro Red Line in Stockholm. This part is virtually completely built on the terrain surface. It consists of the station building itself, a large parking garage building and the connection to the infrastructure of the municipal district of Norsborg.
- E2 – the underground depot located at the end of the Red Line in Stockholm, consisting of three underground bays, which will serve to parking, maintaining and washing of metro trains (see Fig. 1).

The project owner is SL (AB Storstockholms Lokaltrafik = the urban mass transit company for the City of Greater Stockholm); the contractor for the E1 part is NCC, whilst Skanska Sverige AB, Stora Project - Undermark Project is the contractor for the E2 part, with Skanska SK a.s. – Závod Tunely SK plant carrying out the tunnelling and survey work.

PROJECT DESCRIPTION AND WORK PROCEDURE

Basic parameters of the underground depot:

- excavation length about 2900m
- excavated cross-sectional area ranging from 20m^2 to 180m^2
- parameters of the main caverns:
  - Huvudtvärtunnel 125–160m^2 100m
  - Uppstallningstunnel 1 160–250m^2 400m
  - Uppstallningstunnel 2 160–220m^2 300m



Obr. 1 Situácia projektu Norsborgdepån v Štokholme
Fig. 1 Norsborgdepån project in Stockholm layout

- objem vyťaženej horniny spolu 306 000 m^3
- 22 300 svorníkov
- 84 000 m^2 striekaného betónu
- 76 injektážnych dáždnikov (cca 410 t cementu)

Raziace a zaisťovacie práce sú realizované v zmysle tzv. NTM s posudzovaním geológie podľa klasifikačného systému Q. Geologickú stavbu masívu tvoria granity a granitické ruly so systémom diskontinuít. Občasne sa vyskytujú i malé útvary porušenej horniny. Z hydrogeologického hľadiska je masív suchý, vzhľadom na relatívne nízke nadložie (10–30 m) sa občasne vyskytujú priesaky vody z povrchu cez systém diskontinuít.

Postup razenia, v zmysle princípov NTM, je relatívne jednoduchý. Nosnými operáciami sú vrtno-trhacie práce, odťažba horniny a profilácia čelby (strojná a ručná). Zaisťovanie profilu tunela striekaným betónom s rozpýlenou oceľovou výstužou a svorníkmi sa realizuje najskôr po troch záberoch (cca 15 m), pokiaľ to stav horninového masívu dovoľuje, aj po 30 m. Po obhliadke a odobrení stavu výlomu geológom investora je potom výlom zaisťovaný obvykle po 15 m úsekoch (obr. 2).

Keďže obe časti projektu E1 a E2 sa začali realizovať prakticky v rovnakom čase, bolo nutné podzemnú časť projektu otvoriť z opačnej strany cez prístupový tunel (Arbetstunnel) dĺžky 230 m (plocha výrubu cca 60 m^2). Arbetstunnel sa stal jedinou prístupovou cestou do priestoru razenia, čo spolu s priestorovo veľmi obmedzeným zariadením staveniska na povrchu a obmedzujúcimi podmienkami v súvislosti s blízkosťou obytnej zóny, vytvára veľký tlak na organizáciu prác a koordináciu jednotlivých operácií.

Stavba je rozdelená na spojovací tunel (Huvudtvärtunnel), z ktorého vychádzajú do oboch strán 3 kaverny – Uppställningstunnel 1, 2 a 3. Huvudtvärtunnel potom pokračuje do vetracieho tunela (Drifttunnel) a komunikačného tunela (Komunikationstunnel), ktorý vychádza na povrch a je jedným z troch spojovacích bodov s povrchovou časťou projektu.

- aggregate excavated ground volume 306,000m^3
- 22,300 rockbolts
- 84,000m^2 of shotcrete
- 76 grouting umbrellas (about 410t of cement)

The tunnelling and excavation support operations are carried out according to the NTM, with the geology classification according to the Q-system. The geological structure of the massif is formed by granites and granitic gneiss with a system of discontinuities. Small formations of fractured rock occur occasionally. In terms of hydrogeology, the massif is dry. With respect to the relatively shallow overburden (10–30m), water seepage from the surface through the discontinuity system occurs occasionally.

The excavation procedure following the NTM principles is relatively simple. The main operations consist of the drill-and-blast, mucking out and the profiling of the face (both mechanical and manual). The tunnel profile support consisting of steel fibre reinforced shotcrete and rockbolts is being installed after three excavation rounds at the latest (about 15m), even at the distance of 30m behind the face if the rock mass condition permits. After inspecting and assessing the condition by project owner's geologist, the excavation is usually provided with the support in 15m long sections (see Fig. 2).

Because of the fact that the work on the two parts of the project, E1 and E2, commenced virtually simultaneously, it was necessary to open the underground part of the project from the opposite side, through a 230m long access tunnel (the Arbetstunnel) (the excavated cross-sectional area of ca 60m^2). The Arbetstunnel became the only access route to the heading, which fact, together with the restricted space for construction site facilities and the restricting conditions associated with the proximity of the residential zone, asserts great pressure on the organisation of work and coordination of individual operations.

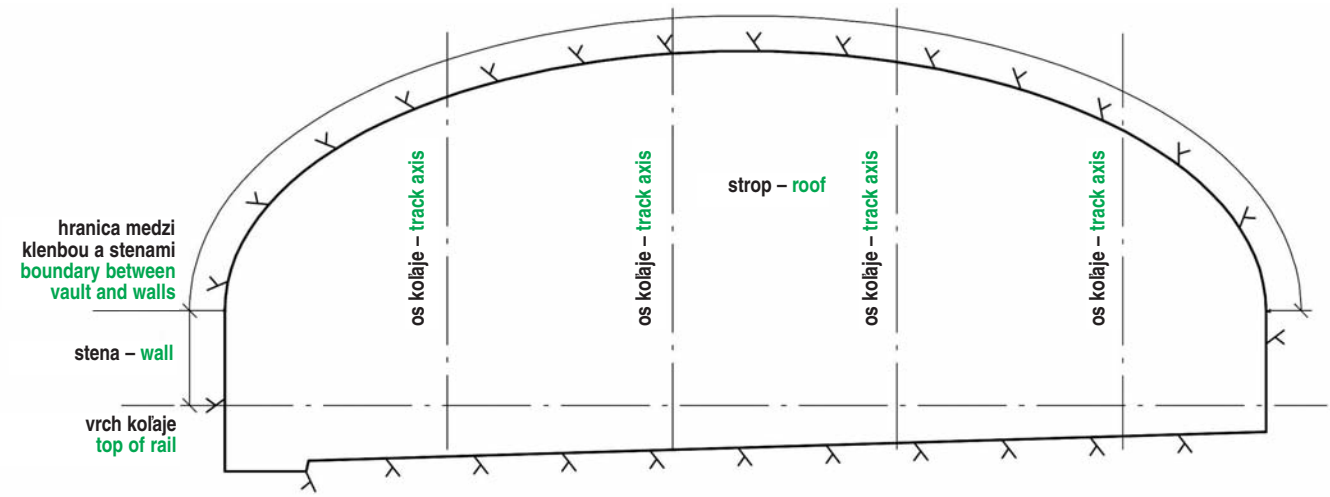


SCHÉMA VYSTROJENIA PRE ŠÍRKY TUNELA B=20-25 M
CHART OF SUPPORT FOR TUNNEL WIDTHS B=20-25M

Výška nadložia BT > B/2 – Overburden height BT > B/2

kvalita masívu ground mass quality	rozostupy svorníkov spacing of rockbolts		dĺžka svorníkov length of rockbolts		hrúbka striekaného betónu s rozptýlenou oceľovou výstužou thickness of steel fibre reinforced shotcrete		vystrojovacia trieda excavation support class
	strop - roof	steny - walls	strop - roof	steny - walls	strop - roof	steny - walls	
Q ≥ 10	# 2,3 m	poznámka	5,0 m	2,4 m	50 mm	-	4A
Q = 4 - 10	# 1,7 m	poznámka	5,0 m	2,4 m	70 mm	-	4B
Q = 1 - 4	# 1,5 m	# 2,0 m	6,0 m	3,0 m	110 mm	50 mm	4C
Q < 1	Svorníky a striekaný betón podľa pokynov stavebného dozora Rockbolts and shotcrete according to client inspection instructions						4D
0,1 ≤ Q ≥ 1	# 1,0 m	# 1,0 m	6,0 m	4,0 m	110 mm	110 mm	4Z

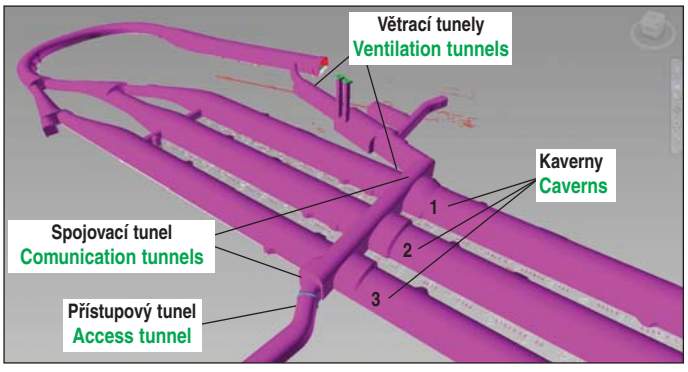
Poznámka Svorníky len v miestach určených geológom/stavebným dozorom in situ, podľa aktuálnych podmienok
Rockbolts only in places determined in situ by client's geologist/inspection according to existing conditions

Obr. 2 Vystrojovacie triedy
Fig. 2 Excavation support classes

Všetky tri kaverny Uppställningstunnel 1, 2 a 3 sa v 360° okruhu spájajú a cez západný a východný tunel vchádzajú do povrchovej časti (obr. 3, 4).

Postup razenia jednotlivých tunelov a kaverien bolo nutné prispôsobiť následným prácam na povrchovej časti projektu v mieste spojenia oboch častí. Prioritou bolo vyraziť spojovací tunel a cez prvú časť vetracieho tunela a komunikačný tunel sa dostať na povrch. Veľké množstvo pracovísk (v súčasnej dobe sa pracuje na 7 čelbách) vytvára predpoklady, pri dobrej organizácii a koordinácii prác, na efektívne využitie kapacít strojov a mechanizmov. Na projekte sú obmedzenia pre vrtné práce, strojnú profiláciu a trhacie práce:

- vrtné práce a strojná profilácia: pondelok – piatok od 7:00–19:00 h.,



Obr. 3 3D model podzemného depa
Fig. 3 3D model of the underground depot

The construction is divided into a connecting tunnel (Huvudtvärtunnel) with three caverns – Uppställningstunnel 1, 2 and 3 – stemming to both sides. The Huvudtvärtunnel continues further to a ventilation tunnel (Drifttunnel) and a communication tunnel (Komunikationstunnel), which emerges on the surface and is one of the three points linking the underground with the at-grade part of the project. All of the three Uppställningstunnel 1, 2 and 3 caverns are interconnected within a 360-degree circuit and



Obr. 4 Pohľad do spojovacieho tunela
Fig. 4 View down the connecting tunnel



Obr. 5 Nakladanie a odťažba, v pozadí strojná profilácia čelby
Fig. 5 Loading and mucking out; mechanical profiling in the background

- trhacie práce: pondelok – piatok od 7:00–22:00 h.

Oba vrtné vozy (Atlas Copco XE3C) sú nasadené prakticky celých 12 h, keď je možno vŕtať, takže servis a údržba je vykonávaná len v noci, resp. cez víkendy. Trhacie práce sú vykonávané v dvoch časoch (11:30 a 21:00 h.), aby bol zabezpečený dostatok horniny pre odťažbu, ktorá prebieha denne od 12:00 do 7:00 h. Pre nakladanie je používaný nakladač Volvo L350F s objemom lopaty 7 m^3 a nakladá sa priamo na cestné nákladné autá (odvoz na skládku mimo stavby priamo z tunela). Strojnú profiláciu vykonávajú 2 kolesové rýpadlá Liebherr 924 (obr. 5). Osádku na razení tvorí spolu 34 pracovníkov závodu Tunely SK.

Projekt počíta s osadením vnútorného ostenia (inner lining) – izolácii proti odkvapom vody vo väčšine podzemných priestorov depa. Geologický prieskum územia predpokladal minimálne prítoky vody, preto nie je aplikovaná systematická injektáž, ako je to v Škandinávii obvyklé. Injektáž predpolia sa realizuje na základe skúšok priepustnosti predpolia masívu – Lugeon test. Tento sa vykonáva každý tretí (24 m vrty), resp. štvrtý záber (27 m vrty). Lugeon test spočíva v navŕtaní 3 testovacích vývrtov vo vnútri profilu a v samotnom teste priepustnosti. Pomocou injektážnej súpravy Atlas Copco Unigrout je po vyplnení vývrtov voda tlačená počas 2 min. pri konštantnom tlaku 0,7 MPa. Pokiaľ masív odoberie menej než 12 l vody, injektáž nemusí byť vykonaná a razenie pokračuje ďalej.

Pokiaľ masív odoberie viac než 12 l vody aspoň v jedom vývrte, nasleduje injektáž predpolia. Pri tejto sa vŕta 16 vývrtov dĺžky 24, resp. 27 m nad obrys tunela. Na vŕtanie je používaný tzv. Carousel osadený na krajných lafetách vŕtacieho voza AC XE3C. Tento systém umožňuje automatizované vŕtanie dlhých vývrtov použitím revolverového zásobníka vrtných tyčí. Vŕtanie jedného vývrtu dĺžky 27 m, spolu so spätným vyťahovaním tyčí, trvá v priemere 45 min. Doposiaľ bolo na projekte vykonaných 12 injektáží predpolia (okrem prístupového tunela, ktorý je dočasnou stavbou).

TRHACIE PRÁCE

Razenie celého podzemného diela je vykonávané vrtno-trhacími prácami, na ktoré boli strelmajstri Skanska SK zaškolení a preskúšaní švédskym certifikačným orgánom (Berg Utbildarma AB). Ten na základe vykonaných skúšok vystavil strelmajstrom osvedčenie na vykonávanie trhacích prác platné na 10 rokov pre celé územie Švédska. Dodávateľom trhavín, rozbušiek a všetkého materiálu potrebného na vykonávanie trhacích prác je španielska firma Maxam. Pracovníci tejto firmy sú často prítomní pri vykonávaní trhacích prác na stavbe, hlavne z dôvodu sledovania kvality ich produktu a jeho kalibrácie.

enter the at-grade part via the western tunnel and eastern tunnel (see Figures 3 and 4).

The procedure for the excavation of individual tunnels and caverns had to be accommodated to the subsequent work on the at-grade part of the project in the location where the two parts merge. The priority was to drive the connecting tunnel and get to the surface through the first part of the ventilation tunnel and the communication tunnel. The great quantity of working places (the work is currently proceeding at 7 headings) creates conditions for the effective exploitation of the capacities of machines and mechanisms if the operations are organised and coordinated properly. There are the following time restrictions applied to the project, regarding drilling, profiling and blasting operations:

- drilling and mechanical profiling: Monday – Friday from 7:00 – 19:00 hours
- blasting: Monday – Friday from 7:00 – 22:00 hours

Both drilling rigs (Atlas Copco and XE3C) are deployed virtually for all 12 hours when drilling is possible, therefore servicing and maintaining is carried out only during the nighttime or during weekends. Blasting is carried out at two times (11:30 and 21:00 hours) so that the sufficient volume of muck to be daily carried from the underground from 12:00 to 7:00 hours is secured. Muck is loaded by a Volvo L350F loader with the shovel volume of 7m^3 directly to road trucks (removing the muck to a stockpile outside the construction site directly from the tunnel). Mechanical profiling is carried out by 2 Liebherr 924 wheeled excavators (see Fig. 5). The tunnelling crew consists of 34 workers of Závad Tunely SK plant.

The design takes into account the installation of an inner lining – insulation against dripping water – in the majority of underground spaces of the depot. The geological survey of the area assumed minimum water inflows. For that reason no grouting system, which is customary in Scandinavia, is not applied. The injection of grout into the advance core is carried out on the basis of advance core permeability tests – the Lugeon test. This test is conducted in every third or fourth excavation round (24m long and 27m long drillholes, respectively). The Lugeon test lies in drilling 3 test holes within the tunnel profile and the permeability test itself. After the drillholes are full, water is compressed to the constant pressure of 0.7MPa for 2 minutes by means of Atlas Copco Unigrout grouting set. If the massif takes less than 12 litres of water, grouting does not have to be carried out and the excavation proceeds on.

If the massif takes more than 12 litres of water at least in one drillhole, the grouting into the advance core follows. It comprises 16 holes 24 and 27m long, respectively, drilled above the tunnel contour. The drilling is carried out using the so-called Carousel, which is mounted on side booms of the AC XE3C drill rig. This system allows for automated drilling of long holes using a revolving rod carousel. Drilling of one 27m long hole and pulling of the rods out takes 45 minutes on average. To date, 12 cases of injecting grout into the advance core have been carried out (with the exception of the access tunnel, which is a temporary structure).

BLASTING OPERATIONS

The entire underground working is being excavated using the drill-and-blast procedures, for which the Skanska SK shotfirers were trained and tested by a Swedish certifying authority (Berg Utbildarma AB). The authority issued permits for the execution of blasting for shotfirers on the basis of successfully passed tests. The permits were valid for 10 years for the entire area of Sweden. Explosives, detonators and all materials required for the execution of blasting are being supplied by Spain-based Maxam. Employees of this company have been often present at the

Používa sa emulzná trhavina, ktorá je iniciovaná neelektrickým roznetom – systém Nonel.

Čelba je nabíjaná pomocou nabíjacej súpravy typu SSE, Nobel Mix 1400-50-11-2A (výrobca Nobel Technic, Nórsko), ktorá je osadená na podvozku nákladného auta, vybaveného pracovnou plošinou. Vzhľadom na veľkosť tunelov a efektivitu rýchlosti nabíjania je súprava vybavená dvomi úrovňami nabíjania – z plošiny a zo zeme. Emulzná trhavina je tlačená do vrtov dávkovacím čerpadlom po predchádzajúcom zmiešaní všetkých zložiek emulznej trhaviny v požadovanom pomere. Používané sú štyri rôzne merné nálože výbušnej zmesi pre jednotlivé časti čelby – zálom a obrys dna, pribierkové vrty, pomocný obrys a obrys. Jednotlivé stupne si pracovníci pri nabíjaní volia na ovládači. Aby bola zaručená správna merná nálož a súvislosť plnenia trhavinovej nálože (string line pri obryse a pomocnom obryse), aj rýchlosť vyťahovania dávkovacej hadice je riadená počítačom. Množstvo čerpanej zmesi, ako aj ostatné parametre nabíjania, sú zaznamenávané v počítači súpravy. Pri najväčších profiloch presahuje celkové množstvo trhaviny až 2000 kg na 5m záber. Používanie emulznej trhaviny je v týchto podmienkach veľmi efektívne. Čas na nabitie čelby s plochou výrubu 200 m^2 a cca 260 vývrtmi dĺžky 5,8 m trvá v priemere 4 h.

Vzhľadom na to, že sa razí pod mestskou zástavbou, veľký dôraz sa kladie na sledovanie seizmických účinkov na povrch. Taktiež už spomínané časové obmedzenia na vykonávanie trhacích prác značne komplikujú ich priebeh. Tento faktor má veľký význam pri stanovovaní časového sledu jednotlivých pracovných operácií počas dennej zmeny, kedy je dovolené tieto práce vykonávať. Aby sa minimalizovali stratové časy ovetrávania, odpaly na jednotlivých čelbách sú nastavené na čas zmenovej výmeny vodičov nákladných automobilov zabezpečujúcich odvoz horniny na skládku.

Veľký dôraz sa kladie na dodržiavanie bezpečnostných predpisov počas vykonávania trhacích prác. Bezpečnostné štandardy pri trhacích prácach sú podobné, na aké sme zvyknutí v našich podmienkach (bezpečnostné zóny, komunikácia so strelmajstrom, hliadky atď.). Takisto je veľmi dôležité používanie ochranných rukavíc a okuliarov pri nabíjaní, pretože emulzia je značne agresívna a po kontakte s pokožkou môže spôsobiť nepríjemnú reakciu.

Základná látka pre výrobu emulzie sa skladuje a dopĺňa priamo v podzemí vo veľkokapacitnej nádrži, z ktorej sa prečerpáva do nabíjacej plošiny. Rozbušky a ostatné pomôcky pre trhacie práce sú skladované v sklade trhavín, ktorý je tiež v podzemí. Evidenciu skladovaného a spotrebovaného materiálu, použitého pri trhacích prácach, vykonávajú strelmajstri. Emulzia, ktorá zostane po nabíjaní na dne tunela, sa musí uložiť do nádoby, ktorá je na to určená. Po jej naplnení je odvezená dodávateľom emulzie zo stavby.

Pri optimalizácii jednotlivých pracovných operácií v tuneli a absencii porúch strojov osádka je schopná urobiť tri odpaly počas dovoleného časového rozmedzia na trhacie práce, pri spotrebe cca 4,5 t emulzie. Pri súčasne razených profiloch tunelov 3 odpaly predstavujú optimum aj z pohľadu kapacitných možností odťažby a priechodnosti tunela pre nákladné automobily.

Používaný systém trhacích prác je v podmienkach Škandinávie obvyklý, avšak mnohí slovenskí tunelári sa s ním na tejto stavbe stretli po prvýkrát. Použitie emulznej trhaviny a systém jej dávkovania do vrtov je vysoko efektívny a bol by aplikovateľný aj v našich podmienkach.

GEODETICKÉ PRÁCE

Veľmi dôležitou neoddeliteľnou súčasťou tunelárskych prác, ktoré vykonávajú zamestnanci pri realizácii projektu

execution of blasting on the construction site, first of all with the aim of monitoring the quality of their product and calibrating it. Emulsion explosive is being used, with the Nonel non-electric initiation system.

The excavation face has been charged using an SSE, Nobel Mix 1400-50-11-2A charging set (manufactured by Nobel Technic, Norway), which is mounted on a truck chassis. It is equipped with an access platform. With respect to the size of the tunnels and the effectiveness of the charging rate, the set is equipped with two charging levels, i.e. charging from the platform and from the excavation bottom. The emulsion explosive is pushed into drillholes using a dosing pump after prior mixing of all emulsion explosive components at the prescribed ratio. Four different specific charges of the explosive mix are used for individual parts of the excavation face, i.e. for cut and bottom contour holes, enlarger holes, auxiliary contour holes and contour holes. Workers carrying out the charging select particular stages on an actuator. To secure the correct specific charge and the continuity of filling the explosive charge in the drillholes (the string line at the contour and auxiliary contour) as well as the rate of pulling the dosing hose from the drillholes, the process is controlled by a computer. The amount of the mix being pumped and the other parameters are recorded in the charging set computer. The total amount of the explosive required for the largest profiles exceeds 2000kg per 5m-long excavation round. The use of the emulsion explosive in the particular conditions has been very efficient. The charging of excavation face with the excavated cross-sectional area of 200m^2 and about 260 drillholes 5.8m long takes 4 hours on average.

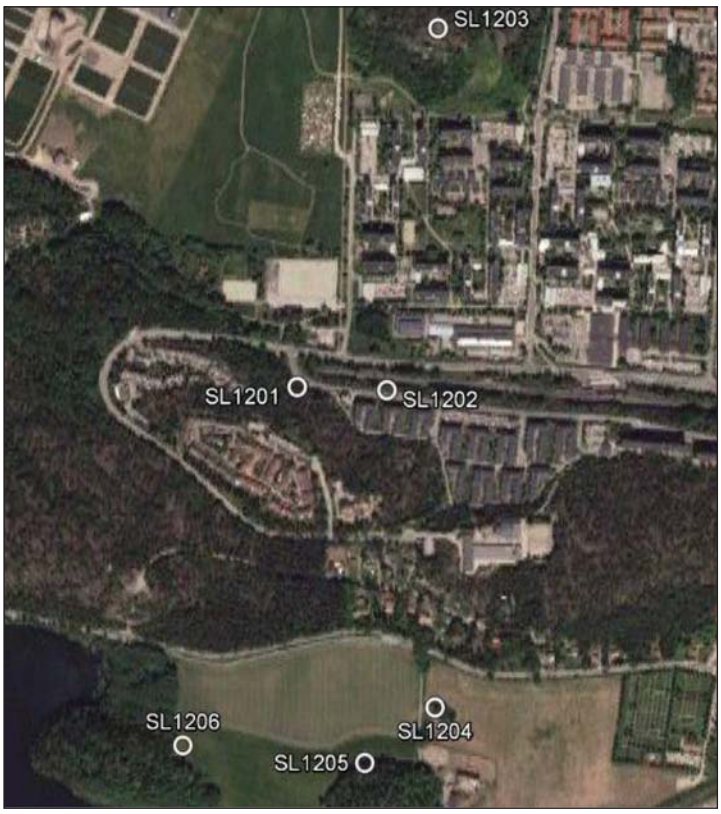
Taking into consideration the fact that the tunnelling operations are carried out under urban development, great emphasis is placed on the monitoring of seismic effects on the terrain surface. The above-mentioned time constraints imposed on the execution of blasting operations significantly complicate their course. This factor is very important when the time sequence of individual working operations during day shifts, when the execution of these operations is permitted, is being determined. With the aim of minimising idle times required for clearing smoke from the tunnel, the firing times at individual headings are set to the time of the rotation of drivers of trucks securing the transport of muck to stockpiles.

Great stress is placed on complying with safety regulations during blasting operations. Safety standards for blasting are similar to those we are accustomed to in our conditions (safety zones, communication with the shotfirer, guards etc.). Also very important is the use of protective gloves and goggles when charging the holes because the emulsion is highly aggressive and can cause an unpleasant reaction after getting into contact with skin.

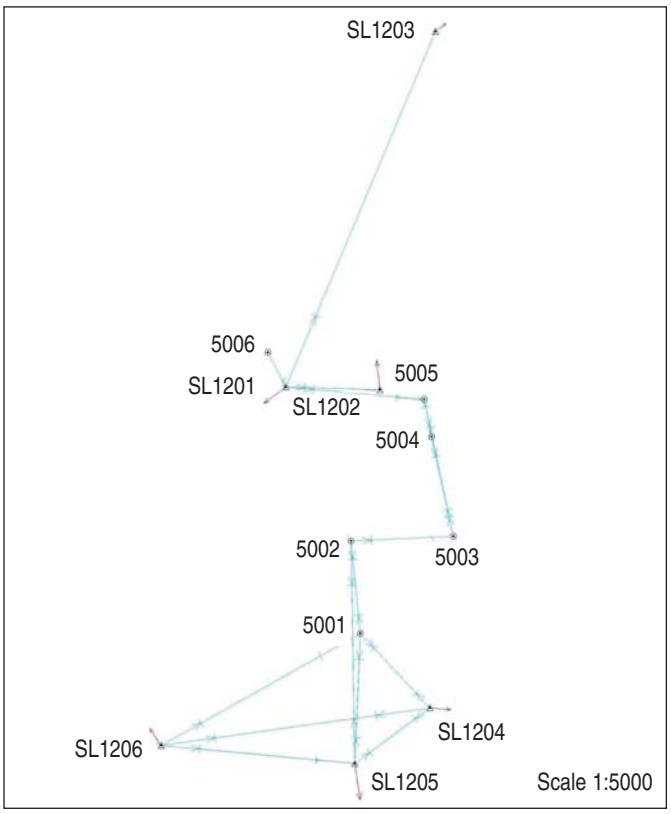
The basic matter for the emulsion production is stored and the stock is replenished directly in the underground, in a large-capacity tank, from which it is pumped over to the charging platform. Detonators and other tools required for blasting operations are stored in the magazine, which is also located underground. The stored materials and materials consumed during blasting operations are recorded by shotfirers. The emulsion which remains after charging on the tunnel bottom has to be placed into an appropriate container. When the container is full, it is transported from the site by the emulsion supplier.

When the individual working operations in the tunnel are optimised and no defects of machines take place, the crew is capable of performing three firing events during the course of the time range permitted for the blasting, with the consumption ca 4.5 tonnes of emulsion. At the currently driven tunnel profiles, 3 firing cases represent an optimum even in terms of the capacity of the mucking out system and the passability of the tunnel for trucks.

The blasting system being used is a commonplace in the Scandinavian conditions, but many Slovak tunnellers have met it for the first time on this construction site. The use of emulsion



Obr. 6 Situácia bodov základnej vytyčovacej siete
Fig. 6 Layout of the Basic setting-out net points



Obr. 7 Výsledky vyrovnania
Fig. 7 Adjustment results

Norsborgsdepän, je okrem tunelárskych prác aj kompletná dodávka geodetických prác, vrátane hlavného geodeta stavby. Rozdeľujú sa do troch úrovní:

Vytyčovacia sieť stavby – pripojenie sa na prevzatú základnú vytyčovaciu sieť (ZVS) a budovanie vlastnej základnej a podrobnej vytyčovacej siete (PVS).

Definícia projektu a transformácia potrebných geometrických parametrov stavby do geodetického softwaru a aplikačných programov geodetických systémov.

Usmerňovanie razenia a dokumentácia skutočnej realizácie stavebných objektov.

Vytyčovacia sieť stavby

Po prevzatí stavby bola poskytnutá vytyčovacia sieť tvorená dvoma trojicami bodov na južnej a severnej strane stavby. K tomu bolo odovzdané ešte po jednom nivelačnom bode na severnej a južnej strane stavby. Body boli stabilizované zväčša oceľovými klincovými značkami v pevnom skalnom podklade (v jednom prípade len oceľovou rúrkou). Takáto stabilizácia je dosť nešťastná, lebo pri každom meraní je potrebné postaviť nad bodom prístroj na statíve, čím logicky dochádza k určitému zhoršeniu presnosti z dôvodu vycentrovania prístroja na bode. Stabilizácia bodov pilierovými pažnicami s núteným centrovaním prístroja nebola možná, pretože sa tieto nachádzali na súkromných pozemkoch a k dohode s majiteľmi pozemkov sa nedalo dospieť.

Poloha odovzdaných bodov bola určená len GPS meraním, a preto bola potrebná ich kontrola priamym terestrickým meraním (TPS meranie). TPS bolo realizované v mesiaci apríl 2013. Z dôvodu konfigurácie terénu a viacerých ostatných faktorov (zalesnenie, hustá zástavba, ...) bolo malým zázrakom, že sa našla trasa, ktorou bolo možné prepojiť obidve strany ZVS polygónovým ťahom. Toto meranie bolo navyše potrebné urobiť v skorých jarných mesiacoch v období vegetačného kľudu.

Meranie bolo následne vyhodnotené a sieť bola vnútorne vyrovnaná ako pevný lokálny súradnicový systém. Vyrovnanie

explosive and the system of its dosing into drillholes is highly effective and would be applicable even to our conditions.

SURVEYING

Very important and inseparable part of the tunnelling work carried out by employees during the realisation of the Norsborgsdepån project is, apart from the tunnel excavation, the comprehensive supply of survey services, including fulfilling the position of the main project surveyor. The survey services are divided into the following three levels:

The setting-out network – connecting it to the Basic Setting-out Net (BSN) taken over from the client and building contractor's own Basic and Detailed Setting-out Net (DSN).

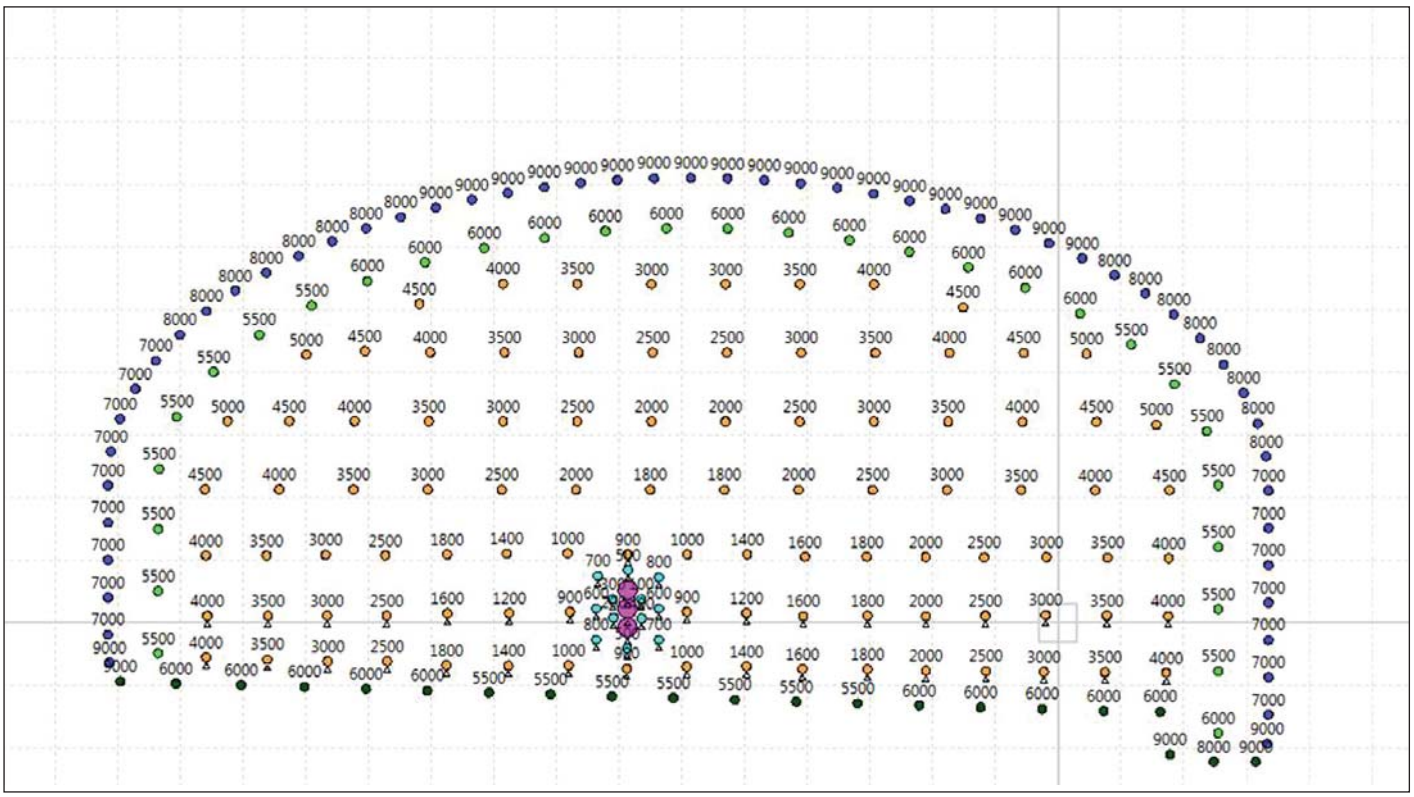
The project definition and transformation of required geometrical parameters of the project into a survey software and application programs of survey systems.

Guiding the excavation and documenting the as-built state of structures.

Construction setting-out network

After the construction site takeover, a setting-out network formed by two triads of points on the southern side and northern side of the construction site was provided. In addition, one levelling point was handed over on either side. The points were stabilised mostly by steel nails fixed in the solid rock (in one case only by a small-diameter steel tube). This stabilisation system is quite unfortunate because it is necessary to install the instrument on a tripod over the point for each measurement, which means that the measurement accuracy is logically deteriorated to some extent as a result of the process of centering the instrument above the point. The stabilisation of the points by means of steel casing pipes allowing forced centering of the instrument was not possible because the casings were located on private land and the attempts to reach permissions of owners failed.

The position of the handed over points was determined only by GPS measurements; for that reason checking by means of direct



Obr. 8 Vrtná schéma
Fig. 8 Drill pattern

siete bolo realizované v programoch Groma, Leica Geo Office (LGO), BetanNeptan. Výškovo vykazovali GPS výšky bodov ZVS rozdiel oproti nivelačným výškam v priemere 20 mm. Oprava bola urobená zavedením nivelačných výšok do TPS meraní. Výsledky z vyrovnania v jednotlivých programoch boli porovnané a po odsúhlasení geodetom objednávateľa použité na zhustenie ZVS na povrchu a budovanie ZVS a PVS v podzemí. V súčasnosti prebieha diskusia o implementácii a zosúladení vytyčovacích sietí s geodetmi firmy NCC, ktorí realizujú druhú časť projektu – stanicu metra Norsborg ako aj predĺženie trate do tejto stanice na severnej strane. Situácia bodov ZVS je zrejmá z obr. 6, výsledky vyrovnania z obr. 7.

Geodetická charakteristika projektu

Stavba depa je situovaná v podzemí a projektovo je rozdelená na viacero stavebných objektov – prístupový tunel (Arbetstunnel), spojovací tunel (Huvudtvärtunel), odstavné tunely (Uppstallningstunnel – 1, 2, 3), západný a východný tunel plus technologické tunely (Drifttunel, Kommunikationstunnel, Tvättanlaggning, Boggieforrad). Keďže ide o depo, je niveleta celej stavby s výnimkou východného tunela projektovaná ako horizontálna vo výške + 23 m nad morom. Táto skutočnosť, na prvý pohľad vyzerajúca ako zjednodušujúca, však v skutočnosti značne komplikuje definovanie projektu do geodetických programov, lebo sa týmto vytráca jedna z typických výhod pri definovaní líniovej (tunelovej stavby), a to že v priečnom profile majú všetky geometrické časti tunela pevné miesto vzhľadom k tunelovej osi. Na projekte Norsborgsdepän z dôvodu odvodnenia tunela (drenáž a technologická kanalizácia) sa prakticky na celej stavbe neustále mení poloha a tvar dna (počvy) tunela vzhľadom k tunelovej osi, resp. hornej klenby tunela. Navyše, ako je zrejmé zo situácie tunela, je západný aj východný tunel napojený na odstavné tunely 1, 2, 3 cez značne komplikované prechodníky. Všetky tieto veľmi komplikované geometrické časti stavby je potrebné zadefinovať pre ďalšie výpočty presnými priečnymi profilmi. Ak na bežnej tunelovej stavbe na to postačuje cca 20 priečnych

terrestrial measurement (the TPS) was required. The TPS was carried out in April 2013. Because of the terrain configuration and several other factors (forestation, dense development, …) it was a small miracle that a route was found along which it was possible to interconnect both sides of the BSN by traversing. It was in addition necessary to carry out the survey during the dormancy period.

The survey was subsequently assessed and the net was internally adjusted as a fixed local coordinate system. The adjustment was realised in Groma, Leica Geo Office (LGO) and BetanNeptan programs. The levels of points determined by the GPS exhibited differences of 20mm on average in comparison with the levels determined by levelling. The correction was carried out by introducing the levels determined by levelling into the TPS measurements. The results obtained by the individual adjustment programs were compared and, after their acceptance by project owner's surveyor, they were used for the densification of the BSN on the surface and the DSN in the underground. At the moment a discussion about the implementation and bringing the setting-out nets into line with NCC company surveyors, who realise the second part of the project, the Norsborg metro station and the extension of the metro line to this station on the northern side, is in progress. The layout of the BSN points and the adjustment results are obvious from Fig. 6 and Fig. 7, respectively.

Survey-related characteristics of the project

The depot construction is divided by the design into several structures - the access tunnel (Arbetstunnel), the connecting tunnel (Huvudtvärtunel), tunnels for stabling tracks (Uppstallningstunnel – 1,2,3) and the western tunnel, the eastern tunnel plus service tunnels (Drifttunel, Kommunikationstunnel, Tvättanlaggning, Boggieforrad). Because it is the case of a depot, the vertical alignment of the entire structure, with the exception of the eastern tunnel, is designed as horizontal at the level of + 23.00m above the sea level. This fact, which looks at first sight to be simplifying, in reality significantly complicates

rezov, tak na tomto projekte ich bude potrebné vytvoriť odhadom cca 700 až 800.

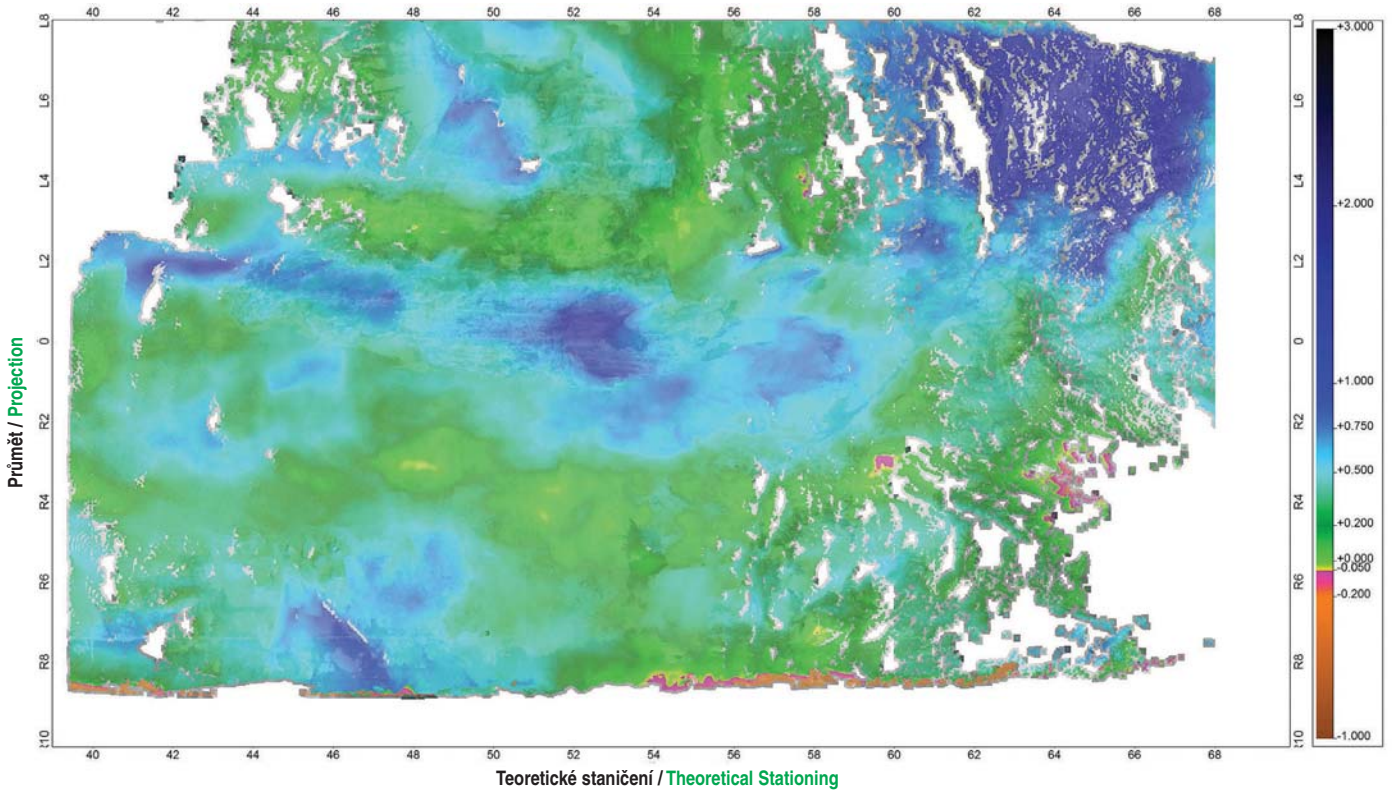
V dodanom projekte bolo projektantom zadefinovaných cca 100 priečnych rezov na všetkých objektoch, situácia stavby (horizontálny rez vo výške +23 m) a pozdĺžny profil jednotlivých objektov. V pozdĺžnych profiloch je však veľmi málo informácií potrebných na správne geometrické zadefinovanie stavebných objektov, takže nosnou zložkou projektu, ktorá je využívaná v prvom rade tak na definíciu projektu, ako aj na kontrolu ostatných foriem projektových definícií, je virtuálny 3D model stavby. V skutočnosti ide o súbor 3D modelov pre každý objekt zvlášť. 3D model tunela je definovaný trojuholníkovou sieťou vo formáte *.dwg – AutoCAD. Táto skutočnosť je v našej praxi úplne nová. Doteraz bola pre nás postačujúca trasa stavby s priečnymi rezmi (poprípade pozdĺžnym profilom). Pri značnej geometrickej zložitosti tejto stavby je to však forma projektovej dokumentácie, ktorá najviac napomáha správnemu definovaniu projektovaných parametrov a s vysokou efektivitou. Vypracovanie takého veľkého množstva priečnych rezov tunelových rúr je nevyhnutné pre ďalšie využitie tak pri usmerňovaní razenia, ako aj pri kontrole presnosti realizovaných objektov.

Usmerňovanie a kontrola razenia

Ako už bolo uvedené, stavba je realizovaná podľa zásad NTM. Jej podstatou je razenie tunelovej rúry vrtno-trhacími prácami a prípadná, často aj neskoršia, aplikácia striekaného betónu. Pri tomto spôsobe razenia tunela usmerňovanie spočíva prakticky len v navigácii vŕtacieho voza a následnej kontroly tejto navigácie. Vŕtací voz je vybavený funkciou automatického vŕtania, to znamená, že po jeho znavigovaní je tento

the project definition in survey programs. The reason is that one of typical advantages in the process of defining a linear structure (a tunnel structure) disappears because all geometrical parts of the tunnel cross-section have firm positions with respect to the tunnel axis. In the case of the Norsborgsdepän project, the position and geometry of the tunnel bottom with respect to the tunnel axis or the upper vault of the tunnel constantly change for the sake of the tunnel drainage (drainage and technological sewerage) virtually throughout the construction length. In addition, as it is obvious from the tunnel layout, both the western tunnel and eastern tunnel are connected to the tunnels for stabling tracks No. 1, 2 and 3 through significantly complicated transition curves. All of these very complicated geometrical parts of the construction have to be defined for subsequent calculations by means of exact cross-sections. Whilst about 20 cross-sections are sufficient for this purpose in the case of a common tunnel construction, the creation of about 700 to 800 cross-sections is guessed to be required for this particular project.

In the handed-over design the designer defined about 100 cross-sections on all structures, the project layout (a horizontal section at the level of 23.00m) and a longitudinal sections of individual structures. Unfortunately, the longitudinal sections contain very little information required for the correct geometrical definition of structures. For that reason the principal component of the design, which is used first of all both for the project definition and for checking the other forms of the project definitions, is the virtual 3D model of the structure. In reality, it is an array of 3D models carried out separately for each structure. The 3D model of the tunnel is defined by a triangular net in *.dwg format – AutoCAD. This fact is completely new in our practice.

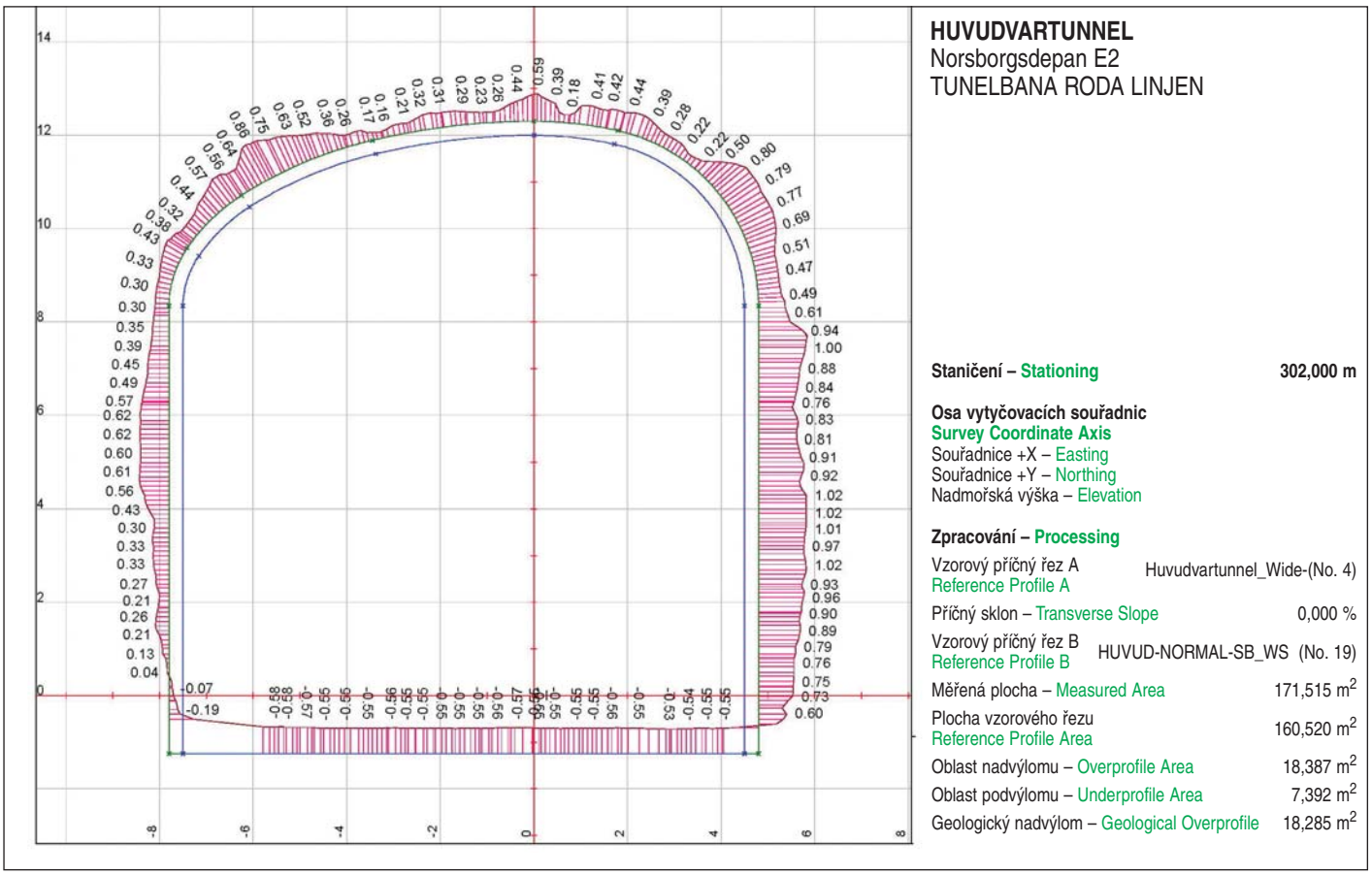


ľavá (pravá) časť rozvinutého plášťa hornej klenby vzhľadom k priemetu tunelovej osi do hornej klenby tunela – left-hand (right-hand) part of the unrolled lateral surface of the vault relative to the projection of the tunnel axis to the tunnel upper vault

„2, 4, 6, ...“: teoretická dĺžka zobrazovanej časti obvodu klenby v metroch na teoretickom priečnom profile tunela po rozvinutí do roviny – „2, 4, 6, ...“: theoretical length of the vault circumference being depicted in metres on the theoretical cross-section after being unrolled to a plane

napr. „L2“: 2m od priemetu osi tunela do hornej klenby vľavo – e.g. „L2“: 2m from the tunnel axis projection to the upper vault on the left side

Obr. 9 Mapa odchýlok
Fig. 9 Map of deviations



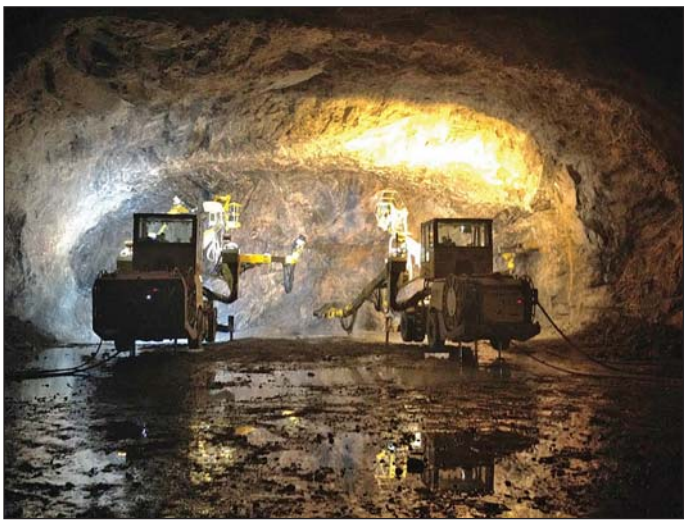
Obr. 10 Radiálne odchýlky od teoretického profilu tunela
Fig. 10 Radial deviations from theoretical tunnel cross-section

lokalizovaný a orientovaný presne v priestore predmetnej čelby. Vďaka systému senzorov vŕtacieho voza je možné presne určiť polohu každej lafety a tým aj každého vrtu vrtnej schémy vzhľadom k projektovaným geometrickým parametrom tunelovej rúry. Jednotlivé vrty sú definované vrtnou schémou (obr. 8), ktorá v sebe zahŕňa tak geometrické, ako aj technologicko-prevádzkové parametre na optimalizáciu vrtno-trhacích prác. Z tohto dôvodu je geometrickým podkladom pre návrh vrtnej schémy priečny rez tunelovej rúry. Keďže systém (softvérová výbava) vo vŕtacom voze Atlas Copco XL3C je schopný využiť len vrtné schémy na báze priečneho rezu tunela, je určitá časť priečnych rezov, vypracovaných pre definíciu projektu v geodetických programoch, využitá aj ako podklad pre vrtné schémy. Do budúcnosti by určite pomohla možnosť využitia priameho načítania 3D modelu tunela do softwaru vŕtacieho voza s následným zobrazením vŕtaných vývrtov vzhľadom na tento model. Takáto možnosť by značne uľahčila prácu (tvorbu vrtných schém) aj na projekte Norsborgsdepän. Následne je nutné vykonať kontrolu navigácie vŕtacieho voza. Kontrola sa vykonáva vytýčením troch vrtov na čelbu pomocou geodetického prístroja a ich následnou kontrolou v systéme vŕtacieho voza. Kontrola razenia sa vykonáva po vyrazení jedného až dvoch záberov (odpalov) tunela. Plánovaná dĺžka záberu je 5,5 m. Kontrola je realizovaná pomocou laserového skenera Leica C5. Hustota bodov skenovania je definovaná rastrom 2x2 cm. Vzhľadom na značný počet súčasne realizovaných čelieb tunelových rúr je kontrola razenia skenovaním vykonávaná prakticky každodenne. Navyše je pre tieto práce využívaná aj sobota a nedeľa, keď sú v tuneli obmedzené prevádzkové práce a teda je možná aj kontrola častí tunela upravených striekaným betónom. Vyhodnotenie je následne prezentované na farebnej mape odchýlok (obr. 9) a v prípade potreby priečnym rezom so zobrazením radiálnych odchýlok od teoretického profilu tunela

Till now the project alignment with cross-sections (or also a longitudinal section) was sufficient for us. But, taking into consideration the significant geometrical complexness of this project, this form of design documents facilitates correct defining of design parameters and ensures high effectiveness. The elaboration of such the great quantity of cross-sections of tunnel tubes is unavoidable for the subsequent use for guiding the drives and checking the accuracy of completed structures.

Guiding and checking the excavation

As mentioned above, the construction is being carried out following the NTM principles. This system of driving tunnel tubes is based on the drill-and-blast technique combined, if necessary, with shotcrete, which is frequently applied subsequently. At this tunnel driving system the guidance lies virtually only in the navigation of the drilling set and subsequent checking on this navigation. The drilling rig is equipped with the automatic drilling function. This means that, after the completion of the drill rig navigation, the machine is localised and oriented accurately in the space of the particular heading. Owing to the system of sensors mounted on the drill rig, it is possible to exactly determine the position of each feed and in this way to determine the position of each drillhole specified in the drilling pattern, relative to the designed geometrical parameters of the tunnel tube. Individual drillholes are defined by the drill pattern (see Fig. 8), which comprises geometrical as well as technological-operating parameters for the optimisation of the drill-and-blast operations. For that reason the tunnel tube cross-section is the geometrical base for the drill pattern design. Because of the fact that the system (software equipment) installed on the Atlas Copco XL3C drill rig is capable of using only drill patterns based on the tunnel cross-section, a certain proportion of the cross-sections prepared for the project definition in survey programs is used as the basis for drilling systems. In the future it would be certainly



Obr. 11 Vŕtanie čelby na odstrel, vŕtacie vozy AC XE3
Fig. 11 Drilling for the face blasting, AC XE3 drill rigs

(obr. 10). Databáza finálnych skenov (po realizácii striekaného betónu) je zároveň jednou z častí konečnej dokumentácie skutočného realizovania stavby (DSRS) keď je objednávateľovi stavby odovzdaná hustá sieť bodov v ortogonálnom rastri 10x10 cm.

Aj napriek skúsenostiam firmy Skanska z veľkého počtu a rozsahu tunelových stavieb vo viacerých krajinách Európy, je toto najnáročnejší projekt v celej histórii, na ktorom geodeti okrem štandardnej geodetickej práce a funkcie hlavného geodeta stavby do značnej miery aj koordinujú prácu s potrebnými prevádzkovými dátami (vrtnými schémami) pre všetky vŕtacie vozy, vedú určitú formu meračskej dokumentácie a v neposlednom rade zbierajú a sumarizujú výsledky záznamov (log file) z vŕtania vŕtacích vozov (obr. 11).

ZÁVER

Projekt Norsborgdepån je momentálne rozsahom najväčším podzemným projektom vo Švédsku. Je veľkou výzvou pre Skanska Sverige a Skanska SK. Projekt má vysoké nároky na organizáciu prác, geodetickú službu i efektívnosť využitia pracovného času. Ako je spomenuté v časti venovanej geodetickým prácam, príprava projektu z pohľadu investora nebola vykonaná na takej úrovni, akú by si takýto projekt zaslúžil.

Dodržanie organizácie prác a postupnosti jednotlivých operácií si vyžaduje veľké nasadenie nie len tunelárov, ale aj technikov a geodetov. Meniace sa podmienky postupu prác vzhľadom na následné práce na povrchovej časti projektu neraz navodili situáciu, ktorá vyžadovala výnimočné nasadenie. Práve preto možno konštatovať, že stavba pokračuje v súlade s požiadavkami platného harmonogramu, ako aj kvality vykonaných prác a to bez jediného pracovného úrazu, či priestupku voči životnému prostrediu.

ING. PETER BALUŠÍK, peter.balusik@skanska.sk,
ING. ONDREJ VIDA, ondrej.vida@skanska.sk,
ING. PETER FERANČÍK, peter.ferancik@skanska.sk,
SKANSKA SK a. s., Závod Tunely SK

Recenzovali: Ing. Viktória Chomová, Ing. Jozef Frankovský

helpful if it was possible to use the direct loading of the 3D tunnel model into the drill rig software with subsequent displaying the holes to be drilled with respect to this model. Such a possibility would significantly facilitate the work (the preparation of drill patterns), even on the Norsborgsdepän project. It is subsequently necessary to check the drill rig navigation. The check is carried out by setting out three drillholes on the excavation face by means of a survey instrument and subsequent checking on them in the drill rig system. The excavation check is carried out after finishing one or two tunnel excavation rounds (blasting cases). The planned length of the excavation round is 5.5m. The checks are carried out by means of a Leica C5 laser scanner. The density of the points to be scanned is defined by a 2x2cm grid. With respect to the significant number of concurrently realised headings, the excavation checks by scanning are performed virtually every day. In addition, this work is carried out even on Saturdays and Sundays, during which the service operations in the tunnel are limited and it is therefore possible to check the tunnel parts covered with shotcrete. The evaluation is subsequently presented on a colour map of deviations (see Fig. 9) and, if necessary, on a cross-section presenting radial deviations from the theoretical tunnel cross-section (see Fig. 10). The database of final scans (after the application of shotcrete) is at the same time one of the parts of the final as-built design package, where a dense network of points in a 10x10cm orthogonal grid is handed over to the project owner.

Despite the experience of Skanska company gained from a large number and extent of tunnel construction sites in many countries, this one is the most demanding project in the company history, on which surveyors carry out not only standard surveying and perform the function of the main project surveyor, but also coordinate, in a significant extent, the work operations with required operating data (drill patterns) for all drill rigs, maintain a certain form of survey documentation and, at last but not least, collect and file the logs from the drill rigs (see Fig. 11).

CONCLUSION

The Norsborgdepån project is at the moment the largest underground project in Sweden as far as the extent is concerned. It is a great challenge for Skanska Sverige and Skanska SK. The project is very demanding in terms of the works organisation, survey services and effectiveness of the use of working time. As mentioned in the part dedicated to survey operations, the preparation of the design as viewed by the project owner was not carried out at the level which such the project would have deserved.

Adhering to the works organisation and the sequence of individual operations requires great efforts not only of tunnellers but also of technicians and surveyors. The changing conditions of the work process relative to the subsequent works on the at-grade part of the project many times induced a situation requiring extraordinary efforts. This is the reason why it is possible to state that the construction proceeds in compliance with the valid programme and requirements for the completed work, without a single working accident or offense against the environment.

ING. PETER BALUŠÍK, peter.balusik@skanska.sk,
ING. ONDREJ VIDA, ondrej.vida@skanska.sk,
ING. PETER FERANČÍK, peter.ferancik@skanska.sk,
SKANSKA SK a. s., Závod Tunely SK

LITERATURA / REFERENCES

1. Projektová dokumentácia stavby Norsborgdepän E2 (AB Storstockholms Lokaltrafik)
2. Realizačná dokumentácia stavby Norsborgdepän E2 (Skanska Sverige AB, Skanska SK a. s.)