

KABELOVÝ TUNEL ZLIČÍN-JIH

ZLIČÍN-SOUTH UTILITY TUNNEL

RADKO RIEGER, PETR CUPAL

ÚVOD

Společnost PREdistribuce, a. s., jakožto hlavní dodavatel elektrické energie v Praze se v mnoha případech potýká se způsobem napojení oblastí konečné spotřeby energie na stávající přenosovou soustavu. Problémy s napojením jsou dány především majetkoprávními vztahy a již existujícími sítěmi technické a dopravní infrastruktury. Tyto dva hlavní limitující faktory často zcela znemožňují použít standardní způsob přenosu – vedení kabelů v kopaných trasách.

Jedním z takovýchto problémů byla i potřeba spolehlivého kapacitního napojení vznikajícího Západního Města a další připravované obchodní výstavby v Praze na Zličíně. Výstavba vzniká na zelené louce mimo existující přenosovou soustavu. Energetickým zdrojem je zde transformovna 110/22 kV Zličín, kterou však od výstavby odděluje komunikace R5 (rozvadovská spojka), drážní těleso metra a pozemky soukromých vlastníků. Vzhledem k potřebě postupného dlouhodobého navyšování elektrického příkonu do dané oblasti v závislosti na požadavcích jednotlivých investorů byla společnost PREdistribuce nucena přistoupit k řešení přívodu energie pomocí kabelového tunelu. Realizaci tunelu bude spolehlivě umožněna pokládka silových kabelů podle skutečných časových potřeb.

Článek je zaměřen na projektovou přípravu stavby Kabelový tunel Zličín-Jih a na srovnání geotechnických předpokladů projektu se skutečnými zjištěnými při ražbě. Pro jednoznačnost termínů na úvod ujasňujeme, že výraz „kabelový tunel“ se historicky váže k prvním stavbám tohoto typu v Praze, jež splňovaly i báňskou definici tunelů, podle níž má tunel plochu výrubu větší než 16 m². „Tunel“ Zličín má výrub menší, ale z hlediska potřeb investora by zavádění dalšího pojmu bylo matoucí, proto se všechna tato díla označují jako kabelové tunely.

SOUHRNNÝ POPIS

Kabelový tunel Zličín-Jih řeší způsob vyvedení energetického výkonu ve formě kabelů 22kV z areálu transformovny (TR) 110/22kV Zličín jižním směrem za rychlostní komunikaci R5 pro budoucí bytovou a obchodní výstavbu. Zde budou kabely vyvedeny z tunelu do kopaných tras ve směru na obchodní zónu Zličín a na Třebonice.

Kabelový tunel je tvořen technologickými šachtami – Š11 na začátku a Š12 na konci, které jsou propojeny raženým kabelovým tunelem kruhového profilu. V šachtách jsou nejen vedeny silové kabely, ale slouží pro větrání díla, čerpání průsakových vod, obsluhu a manipulaci. K tomu jsou vybaveny potřebnými prvky a technologiemi. Ražba tunelu byla vzhledem ke geologickým podmínkám (viz dále) a křížující technické infrastruktúře navržena mechanizovaným štítem. Tato technologie je oproti klasické ražbě výhodnější z ekonomického i časového hlediska.

Základní identifikační údaje:

Název stavby	Kabelový tunel Zličín-Jih
Investor	PREdistribuce, a. s.
Generální zhotovitel	Navatyp, a. s.
Dodavatel ražené části	OHL ŽS, a. s.
Projektant	KO-KA, s. r. o.
Geotechnický monitoring:	Inset, s. r. o.
Místo stavby	MČ Praha 17-Zličín
Výstavba	4–12/2009

Parametry stavby:

Celková délka stavby 157,5 m

Tunel

délka ražby	146 m
profil štítu – hrubý průměr a plocha	3,06 m/7,55 m ²
profil tunelu – světlý průměr a plocha	2,63 m/5,43 m ²
hloubka dna	9,75–12,25 m

INTRODUCTION

PREdistribuce a.s., as the main power supplier in Prague, frequently has to struggle with problems associated with the way in which the areas of final consumption of power are connected to the existing transmission system. Problems with connections mainly follow from property ownership and legal relationships and the already existing technical and transportation infrastructure networks. These two main limiting factors often totally prevent the use of the standard method of transmission – laying cables in trenches.

One of such problems was the need for a reliable, capacity link to the currently developing Západní Město suburb and to another commercial development being prepared in Prague Zličín. The development takes place on greenfield sites, beyond the existing transmission system. The power source for this area is the 110/22kV transformer station in Zličín, which is, unfortunately, separated from the development area by the R5 road (the Rozvadov Connection Road), a metro track embankment and pieces of private land. With respect to the need for continuous long-term increasing of the power input for the given area, depending on requirements of individual investors, PREdistribuce a.s. was forced to attack the power supply problem by building a cable tunnel. Once the tunnel is completed, the installation of power cables will be reliably possible to satisfy the real needs developing with time.

This paper is focused on the designing stage of the project named the 'Zličín-South Cable Tunnel' and on comparing geotechnical assumptions of the design with the reality encountered during the construction. To make the terms unambiguous at the beginning of the paper, we want to clear up that the term 'cable tunnel' is historically associated with first constructions of this type in Prague which even complied with the mining definition of tunnels requiring the excavated cross-sectional area to be larger than 16m². Despite the fact that the excavated area of the Zličín 'tunnel' is smaller, all these workings are referred to as cable tunnels because introducing a new term would be confusing from the point of view of the owner's needs.

OVERALL DESCRIPTION

The Zličín-South cable tunnel project solves the system of transmitting the energy output from the 110/22kV transformer station (TS) by 22kV cables running south, behind the R5 expressway, where residential and commercial development is planned. In this location, the cables will pass from the tunnel to buried routes in the direction of the Zličín commercial zone and further toward Třebonice.

The cable tunnel comprises technological shafts Š11 at the beginning and Š12 at the end. The shafts are interconnected by a mined circular profile tunnel. Apart from housing cables, the shafts also allow ventilation of the tunnel, pumping of seepage water, the tunnel operation and management. For this purpose, they are equipped with necessary components and equipment. The tunnel excavation by means of a mechanised shield was designed with respect to the geological conditions (see below) and utility networks crossing the route. Compared with traditional driving, this technology is more advantageous in terms of economy and time.

Basic identification data

Project name:	Zličín-South Cable Tunnel
Owner:	PREdistribuce a.s.
General contractor	Navatyp a.s.
Sub-contractor for mining work:	OHL ŽS a.s.
Designer:	KO-KA s.r.o.

výška nadloží	6,50–9,0 m
podélný sklon	0,75 %
Šachta Š11	
hrubý půdorys/hloubka	5,65x6,60 m/11,77 m
světlý půdorys/hloubka	4,45x5,40 m/11,15 m
Šachta Š12	
hrubý půdorys/hloubka	5,40x5,60 m/12,60 m
světlý půdorys/hloubka	Ø 4,20 m/11,89 m

FÁZE PŘÍPRAVY STAVBY

Projekt kabelového tunelu Zličín-Jih připravovala naše společnost KO-KA, s. r. o., od roku 2004, kdy byla zpracována prvotní rozhodovací studie. Ta v základních otázkách porovnávala kladné a záporné aspekty jednotlivých možných řešení. Výsledná varianta doporučená k další projektové přípravě optimálně respektovala současné limitující faktory a předjímala možné problémy a jejich řešení.

Zpracovávání dokumentace k územnímu řízení bylo zahájeno v 4/2006, schvalovací proces byl úspěšně ukončen vydáním územního rozhodnutí v 4/2007. Zásadní problém v této fázi nepředstavovalo technické řešení, které se zpracovávalo variantně – klasická ražba, nebo razicí štít – ale majetkoprávní otázky při projednávání záměru s vlastníky dotčených pozemků. Především šlo o otázku duplicitního zápisu vlastnictví pozemku v katastru nemovitostí a specifický průběh jednání se zahraniční developerskou společností, jež neměla jasnou představu o svých záměrech a několikrát tak změnila své požadavky na polohu koncové šachty tunelu. Tyto záležitosti prodloužily dobu projednávání projektu o několik měsíců.

Ve fázi projektu ke stavebnímu povolení jsme na základě výsledků podrobného inženýrskogeologického průzkumu a navazujících geotechnických výpočtů (viz dále) s konečnou platností rozhodli o technologii provádění pomocí štítování. Technologií byl definován i tvar a velikost příčného profilu díla. Z IG průzkumu dále vyplynula nutnost řešení korozní ochrany prefabrikovaného tubusu tunelu v úseku podchodu dráhy metra, kde hrozilo zvýšené nebezpečí poškození konstrukce od účinků bludných proudů. Opětovně jsme se nevyhnuli majetkoprávními problémům při projednávání stavby, kdy se změnily některé vlastnické vztahy a developerská společnost změnila původní plány, jimž byl projekt uzpůsoben. Stavební povolení se tak natáhlo od zahájení projektování v 8/2007 až do 11/2008, kdy nabylo právní moci.

Navazující výběr dodavatele stavby a přípravné činnosti již šly ráz na ráz a stavba byla slavnostně zahájena k 1. dubnu 2009.

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Předpoklady a závěry dle průzkumu

Primárním předpokladem při návrhu podzemního díla je co nejlepší možná znalost zemního prostředí. Ve stupni stavebního povolení byl zpracován podrobný inženýrskogeologický průzkum území firmou Inset, s. r. o. Průzkum vycházel jak z archivních podkladů (mapy a sondy), tak především z vrtaných sond provedených v ose díla a geofyzikálních měření realizovaných v podélné ose díla a kolmo.



Obr. 1 Zákres stavby do fotografie (František Rieger)
Fig. 1 The construction drawn in a photograph (František Rieger)

Geotechnical monitoring:	Inset s.r.o.
Construction location:	Municipal District of Prague 17-Zličín
Construction period:	04 – 12/2009
Construction parameters	
Total length	157.5m
Tunnel	
excavation length	146.00m
shield profile – rough diameter / area	3.06m / 7.55m ²
tunnel profile – net diameter / area	2.63m / 5.43m ²
bottom depth	9.75 – 12.25m
overburden height	6.50 – 9.0m
longitudinal gradient	0.75%
Shaft Š11	
rough ground plan / depth	5.65 x 6.60m / 11.77m
net ground plan / depth	4.45 x 5.40m / 11.15m
Shaft Š12	
rough ground plan / depth	5.40 x 5.60m / 12.60m
net ground plan / depth	Ø 4.20m / 11.89m

DESIGN PREPARATION PHASES

The design for the Zličín-South cable tunnel was prepared by our company, KO-KA s.r.o., from 2004, when the initial decision-making study was carried out. The study dealt with fundamental questions, comparing positive and negative aspects of individual possible solutions. The resultant variant which was recommended for further design preparation most optimally respected the existing limiting factors and anticipated possible problems and their solutions.

The work on the zoning process documents started in April 2006; the approval process was successfully finished by the issuance of the zoning and planning decision in April 2007. The fundamental problem of this phase was not the technical solution, which was prepared in variants – traditional driving or a driving shield – but the property ownership issues encountered during negotiations with land owners affected by the project. The main problem was associated with a duplicate record of the rights to the real estates in the cadastre of real estates and the specific course of negotiations with a foreign developer who did not have a clear idea of his intentions and several times changed his requirements for the location of the end shaft on the tunnel. Owing to these matters, the design negotiation period was extended by several months.

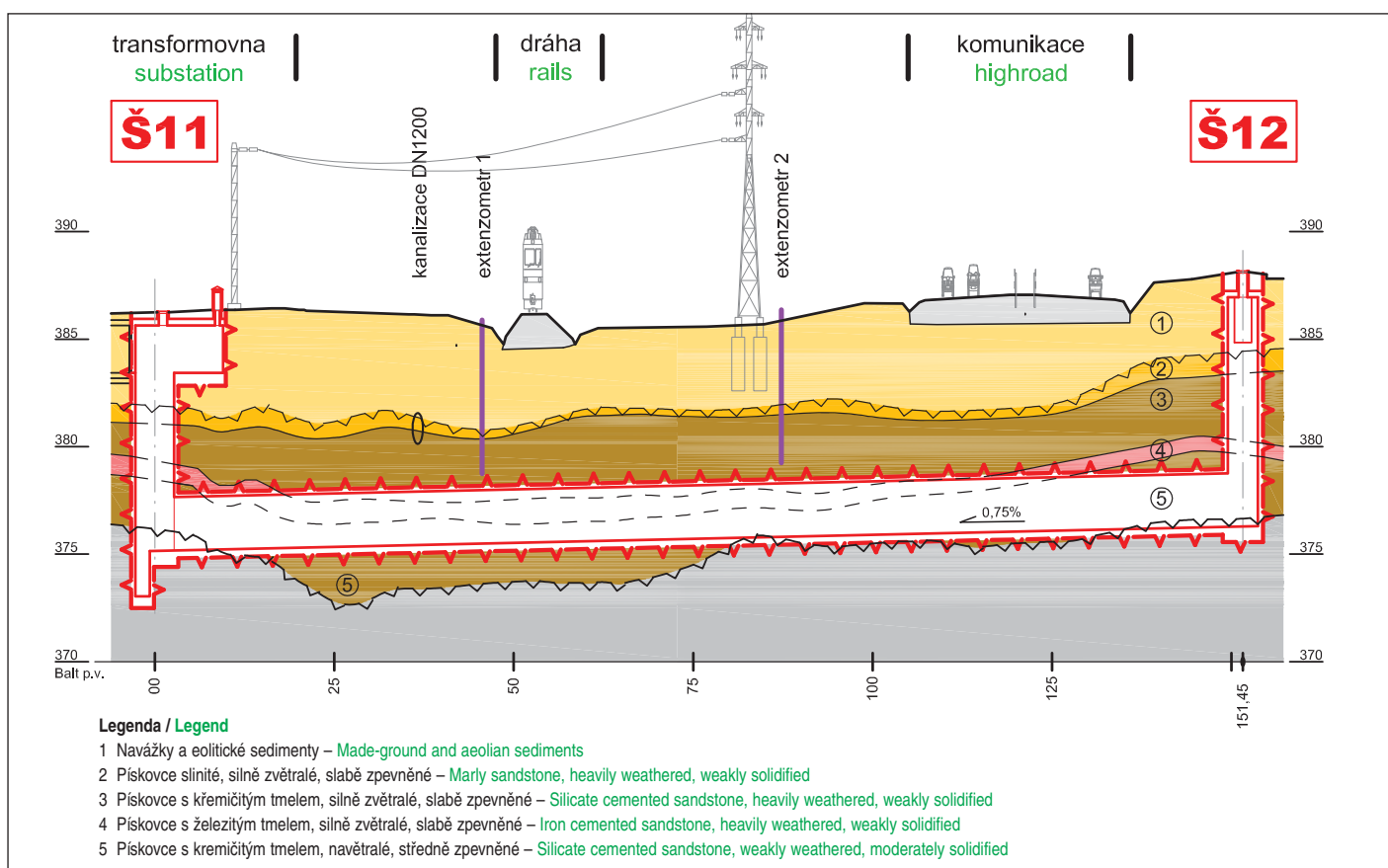
During the final design phase we made the final decision on the excavation technique, on the basis of results of a detailed engineering geological survey and subsequent geotechnical calculations (see further below), to be the use of a shield. This technique also predefined the geometry and dimensions of the cross section of the tunnel. The EG survey further suggested the necessity of solving the corrosion protection of the prefabricated tunnel tube in the section passing under the metro track, where there was an increased threat of damage to the structure due to effects of stray currents. Again we could not avoid property ownership-related problems during the negotiations, where some ownership relationships had changed and the developer changed the original plans to which the design had been adjusted. The period of the issuance of the building permit was therefore extended from the beginning of the design work in August 2007 to November 2008, when the permit became legally valid.

The subsequent selection of a contractor for the construction and preparation activities proceeded quickly, time after time. The construction work commenced on 1st April 2009.

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

Assumptions and conclusions according to the survey

The primary condition for designing an underground working is as good as possible knowledge of the ground environment. In the final design stage, a detailed engineering geological survey of the area was carried out by Inset s.r.o. The survey was based both on archive documents (maps and exploratory boreholes) and, above all, on boreholes drilled on the tunnel centre line and geophysical measurements conducted both on the longitudinal centre line of the tunnel and perpendicular to the centre line.



Obr. 2 Podélný profil stavby (Bc. Petr Cupal)
Fig. 2 Longitudinal section of the tunnel (Bc. Petr Cupal)

Z průzkumu vyplynulo, že ražba bude vedena v křídových sedimentech České křídové pánve, a to především vrstvami kaolinických pískovců. Ty jsou jemně- až střednězrné, slabě až středně zpevněné a jílovitě stmelené. V nich bude také zastížena pevnější poloha pískovců zpevněných železitým tmelem. Nadložní vrstvu pak tvoří slabě zpevněné glaukonitové pískovce.

Na vzorcích z jádrového vrtu v prostoru šachty Š12 se laboratorním měřením určila průměrná pevnost horniny v prostém tahu v úrovni tunelu 1,2 MPa a třída ražnosti R6. Pod počvou tunelu činila pevnost 2,2 MPa a z hlediska ražnosti byla zařazena do třídy R5. Vzhledem k charakteru prostředí a celkové morfologii území realizované sondy hl. 11 m nezástihly hladinu podzemní vody. Podle archivních údajů se hladina slabě agresivní podzemní vody pohybuje několik metrů pod počvou tunelu. Při hloubení šachet budou zastíženy i pokryvné útvary tvořené akumulacemi eolicko-deluviálních a deluviálních sedimentů, které mají charakter



Obr. 3 Čelba tunelu, křemičité pískovce s polohou zpevněnou železitým tmelem (Bc. Petr Cupal)
Fig. 3 Tunnel excavation face – quartzose sandstone with the layer solidified by ferriferous cement (Bc. Petr Cupal)

It followed from the survey that the driving would pass through Cretaceous sediments of the Bohemian Cretaceous Basin, first of all kaolinitic sandstone. They are finely to medium coarsely grained, weakly to medium solidified by clay cement. A harder layer of sandstone cemented by a ferriferous compound will be encountered in the sediments. The overlying layer consists of weakly solidified glauconitic sandstone.

The average direct tensile strength of the rock at the tunnel level of 1.2MPa and the excavation class R6 were determined by laboratory tests on core samples obtained in the vicinity of shaft Š12. The strength under the tunnel bottom reached 2.2 MPa and the excavation class was determined as R5. Because of the character of the environment and overall morphology of the area, 11m deep survey boreholes did not encounter the water table. According to archive documents, the slightly corrosive water table fluctuates several metres under the tunnel bottom. Even a cover consisting of aeolian-deluvial and deluvial sediments having the character of secondary loess, anthropogenic fills and humus layers will be encountered during shaft sinking operations.

The virtually homogeneous excavation environment led to the decision that the tunnel be driven by means of a shield. This technique also promised better results in terms of the effects on the surface compared to traditional excavation.

With respect to electric sources known in the location – the transformer station and the metro track – the survey was consistently focused even on assessing the corrosive action of the environment due to stray currents. The measured geoelectric quantities proved very high corrosivity in the area of operations (degree IV). The necessity followed from this finding that corrosion protection had to be solved for the section passing under the metro track, where there was the risk of geoelectric fields originating around metro power cables and cables installed in the tunnel in the future affecting each other.

REALITY FOUND DURING THE CONSTRUCTION

The excavation environment is well obvious in the longitudinal section. It is possible to state that the survey relatively exactly identified the course of individual layers throughout the tunnel length. Three boreholes were sufficient for the survey – at the beginning, middle and end of the tunnel. The only deviation which was encountered during



Obr. 4 Spouštění štítu (Bc. Petr Cupal)
Fig. 4 Lowering of the shield (Bc. Petr Cupal)

sprašových hlín, uloženiami antropogenného pôvodu a humóznými vrstvami.

V podstatě homogenní prostředí ražby vedlo k rozhodnutí realizovat dílo pomocí razicího štítu. Tato technologie také slibovala lepší výsledky vlivů ražby na povrch území oproti klasické ražbě.

S ohledem na známé elektrické zdroje lokality – TR a dráha metra – se průzkum důsledně zaměřil i na hodnocení korozní agresivity prostředí vlivem bludných proudů. Naměřené geoelektrické veličiny prokázaly velmi vysokou agresivitu zájmového území (stupeň č. IV). Z toho vyplynula nutnost řešení korozní ochrany díla v místě podchodu dráhy metra, kde hrozilo riziko vzájemného ovlivňování geoelektrických polí vznikajících kolem silových kabelů metra a kabelů v budoucnu uložených v tunelu.

SKUTEČNOST ZJIŠTĚNÁ PŘI STAVBĚ

Prostředí ražby je dobře patrné v podélném řezu. Lze konstatovat, že průzkum poměrně přesně odhalil průběh jednotlivých vrstev v celé délce díla, k čemuž stačily 3 průzkumné vrty – začátek, střed a konec tunelu. Při ražbě se pouze lišil průběh a mocnost polohy pískovce zpevněné železitým tmelem, která dosahovala pouze 0,3 m oproti předpokládanému 1 m a jeho průběh se v konci ražby rozdvíjel.

Oproti průzkumu však bylo ražbou zastiženo prostředí o vyšší pevnosti a muselo dojít k přetřídění prostředí z R5 na R4. Železitá vrstva dosahovala dokonce R3.

Tyto odchylky však pro vlastní provádění nepředstavovaly žádný problém.

VOLBA TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ A REALIZACE

Volba technologie

Ražení podzemního díla je vždy spojeno s ovlivněním povrchu. Zvláště v našem případě při budování díla pod frekventovanou silniční a železniční komunikací – rychlostní komunikace R5 a drážní těleso – bylo důležité předpovědět hodnoty maximálních poklesů povrchu a rozsah poklesové kotliny na povrchu terénu s ohledem na blízké inženýrské objekty – stoka DN1200 a rozbočný sloup VVN.

Odhad sednutí terénu a velikosti deformací byl proveden analytickými postupy. Pro vyšetření poklesů na povrchu a určení zóny ovlivnění byla upřednostněna metoda ztráty objemu (volume loss), která byla kontrolně ověřena pomocí klasické teorie odvozené podle Limanova, Fazekase a Pecka. K výpočtu byl použit program GEO 5 – Výrub od firmy Fine, s. r. o.

Předběžné propočty poklesů terénu pomocí klasických metod v rámci přípravy dokumentace k územnímu řízení založené pouze na archivních podkladech předběžného IG průzkumu ukazovaly na poklesy kolem 15–18 mm. Po provedení podrobného průzkumu, jenž zpřesnil především mocnosti jednotlivých vrstev a jejich geotechnické charakteristiky, bylo rozhodnuto o zahloubení nivelety díla o 1 m a novým výpočtem byla zjištěna hodnota poklesu na terénu kolem 10 mm při uvažování nepříznivého stavu 1% ztráty objemu. I tato nízká hodnota by zejména na silničním tělese mohla představovat vážné bezpečnostní riziko.

Cílem návrhu projektu proto bylo tyto teoretické hodnoty minimalizovat.

Vzhledem k tomu, že dosažení těchto hodnot je závislé nejen na geotechnických charakteristikách prostředí, ale také na zvoleném technologickém postupu a následném dodržování technologické kázně dodavatele, bylo důležité správně zvolit nevhodnější technologii ražby. Protože

the excavation was the thickness of the sandstone layer solidified by the ferrous compound, which reached only 0.3m (as opposed to the anticipated 1m value) and bifurcated at the end of the excavation.

However, contrary to the survey conclusions, the strength of the environment encountered by the excavation was higher, thus the excavation classification had to be changed from R5 to R4. The ferrous layer was even categorised as class R3.

The above-mentioned deviations posed no problem for the tunnel driving itself.

SELECTION OF THE WORK TECHNIQUE AND IMPLEMENTATION

Selection of the excavation technique

Driving of an underground working is always associated with effects on the surface. Particularly in our case, where the tunnel was to be driven under a busy road and rail track (the R5 expressway and metro track embankment), it was important to predict the maximum surface settlement values and the extent of the settlement trough with respect to utility structures in the vicinity (a DN1200 sewer and an EHT branch pole).

The estimation of the terrain settlement and the magnitude of strain was carried out using analytical methods. The volume loss method was given preference after the surface settlement values had been investigated and the affected zone had been determined. This method was verified using a classical theory derived according to Liman, Fazekas and Peck. Fine s.r.o.'s GEO 5 – Excavation program was applied to the calculation.

Preliminary surface settlement calculations by classical methods in the framework of the preparation of documents for issuance of zoning and planning decision, which were based only on preliminary archive EG survey documents, suggested settlement values around 15 – 18mm. After the completion of the detailed survey, which refined above all the information on the thickness of individual layers and their geotechnical properties, the decision was made that the tunnel alignment be set deeper by 1m. A new calculation determined the value of the surface settlement to be about 10mm at the unfavourable value of the volume loss of 1. Although, even this low value would have posed significant safety risk, first of all to the road embankment.

THE OBJECTIVE OF THE DESIGN DRAFT WAS TO MINIMISE THESE THEORETICAL VALUES

Taking into consideration the fact that whether these values are reached or not depends not only on geotechnical properties of the environment but also on the selected technological procedure and subsequent technological discipline of the contractor, it was important to select the most suitable excavation technique correctly. Because, according to the EG survey, the ground environment is formed throughout the tunnel length by unconsolidated to little consolidated sandstone, the environment is homogeneous and the excavation is carried out above the water table, the decision was made that the tunnel be constructed using the shielding technique. This technique, compared with traditional excavation, minimises errors caused by the human factor by means of automation of individual activities and, owing to the fact that the support structure is created immediately, removes the risk of development of overbreaks promises smaller impact on the surface (if requirements of the working procedure are adhered to).

The aspect of time was also a non-negligible factor in the process of selecting the technique, taking into consideration the accumulation of delays suffered during the construction approval process, which did not correspond to the original intentions of the owner as far as the completion time was concerned. Compared to traditional mining methods, shield driving means an advance rate faster roughly by a third. In addition, uniform high quality of the load-bearing structure is guaranteed thanks to the precast lining segments.

TECHNOLOGICAL PROCEDURE

A mechanised hydraulic shield DN3050 with the excavated cross-sectional area of 7.55m² was designed for the tunnel excavation. The application of the driving shield required a 11.5m deep launch shaft 4.45 x 5.40m (minimum ground plan dimensions for lowering of the shield – see Photo) to be sunk at the beginning, which would be used after the completion of the works as a technological shaft.



Obr. 5 Tubus tunelu po provedení těsnící injektáže (Bc. Petr Cupal)
Fig. 5 Tunnel tube after completion of the sealing grouting (Bc. Petr Cupal)

podle IG průřezu tvoří horninové prostředí v celém průběhu ražby nepevně až málo zpevněné pískovce, prostředí je homogenní a ražba probíhá nad hladinou podzemní vody, bylo rozhodnuto o realizaci díla pomocí štítování. Tato technologie v porovnání s klasickou ražbou minimalizuje chybu lidského faktoru automatizací jednotlivých činností a díky okamžitému vytváření nosné konstrukce bez rizika vzniku nadvýrubů slibuje také menší ovlivnění povrchů (při důsledném dodržení pracovního postupu).

S ohledem na kumulaci průtahů při povolování stavby, které nekořepovaly s původními časovými záměry investora na zprovoznění díla, byl neopominutelným faktorem při volbě technologie také čas. Štítování oproti klasické metodě znamená zhruba o třetinu rychlejší postup prací. Navíc je díky prefabrikovaným dílcům ostění zaručena jednotná vysoká kvalita nosné konstrukce.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Ražba tunelu byla navržena pomocí mechanizovaného hydraulického štítu DN3050 o výrubu 7,55 m². Pro realizaci díla razičím štítem bylo nejprve nutno provést startovací šachtu o světle velikosti 4,45 x 5,40 m podle minimálních rozměrů nutných pro spouštění štítu (viz foto) a hloubce 11,15 m, která po dokončení díla slouží jako technologická. Na dně šachty byla vytvořena „kolíbká“ z panelů pro uložení štítu a zahájení ražby.

Ražba mechanickým štítem spojuje dva obvykle samostatné procesy provizorního a definitivního ostění do jednoho technologického celku. Veškeré práce spojené s výstavbou tubusu tunelu probíhají uvnitř štítu, za kterým zůstává hotové dílo.

Použitý štít má světlý profil 3060 mm a jeho ocelový plášť je tloušťky 16 mm. Vnitřní profil ostění je 2630 mm při tloušťce 200 mm. Profil tunelu je tvořen 6 ks železobetonových klenutých kónických segmentů 305-DR. Segmenty jsou z betonu třídy C35/45, tloušťky 200 mm a délky 600 mm. Jednotlivé segmenty jsou provedeny s vysokou přesností (v řádu milimetrů) v kvalitě pohledového betonu a vzájemně spojeny na principu pero-drážka. Jednotlivé segmenty mají otvor pro injektáž, kterým je injektováno za ostění a současně do spojů mezi segmenty. Dodavatelem ražené části tunelu byla společnost OHL ŽS, a. s., dodavatelem segmentů ŽPSV, a. s., závod Borohrádek.

Pro dosažení poklesů terénu podle předpokladu projektu bylo nutno důsledně dbát na kvalitní vyplňování volných prostor mezi ostěním a zemním prostředím vznikajících při vysouvání prstence ze štítu. Tento prostor dosahuje až cca 70 mm (součet tloušťky štítu a deformace kruhového profilu po sesazení segmentů) a vyplňuje se ve dvou etapách – poprvé v okamžiku vysouvání prstence ze štítu zafoukáním lehčeného kamenniva (liaporu) po celém obvodu prstence a podruhé ve vzdálenosti cca 10–15 m za štítem těsnící jílocementovou injektáží. Injektáž slouží nejen ke spolehlivému kontaktování díla k hornině a zmonolitnění tubusu ale také k utěsnění pracovních spár mezi jednotlivými segmenty ostění vůči vodě. Opatření proti vodě byla prováděna nejen s ohledem na vsakující se povrchové vody, ale také s ohledem na dlouhou životnost podzemního díla, která je uvažována 80–100 let. Ač se niveleta díla pohybuje několik metrů nad hladinou podzemní vody, toto dlouhé období s sebou nese mj. riziko klimatických změn, a tedy změny vodního režimu v okolním prostředí.

A cradle formed by panels was installed on the shaft bottom for the purpose of placing the shield on it and allowing the driving to start.

The excavation method using a mechanical shield joins the usually separate processes of the installation of primary and secondary linings into one technological operation. All activities associated with the construction of a tunnel tube are performed inside the shield, leaving completed works behind it.

The shield which was used was 3060mm in diameter and its steel jacket was 16mm thick. The inner profile of the tunnel is 2630mm at the lining thickness of 200mm. The tunnel cross section consists of 6 vaulted, conical RC segments 305-DR. The 200mm thick and 600mm long segments are in concrete grade C35/45. Individual segments are produced with high precision (in the order of millimetres) and with architectural finish. Tongued and grooved joints are used to connect them with one another. Individual segments are provided with grouting valves through which grout is injected behind the lining and, at the same time, to joints between segments. The contractor for the mined section of the tunnel was OHL ŽS; the segments were supplied by the Borohrádek plant of ŽPSV a.s.

To maintain the settlement limits anticipated by the design, it was necessary to carefully see to the quality of backfilling empty spaces between the lining and the ground mass, which originated during the process of pushing the lining ring from the shield. This annular space is up to about 70mm thick (the summation of the shield jacket and the deformation of the circular profile after the installation of the segments). It is backfilled in two stages. The first stage takes place when the ring is being pushed out of the shield (lightweight aggregates are blown into the whole annular space), while the second stage backfilling is carried out by injecting clay-cement sealing grout, at the distance of about 10-15m behind the shield. The grouting ensures not only a reliable contact between the tunnel and ground mass, but also waterproofing of joints between the segments. The waterproofing was carried out not only with respect to seeping rain water, but also with respect to the long life of the underground working, which is assumed to be 80-100 years. Despite the fact that the tunnel alignment runs several metres above the water table, this long time means that there is a risk of climatic changes in the future, thus also changes within the hydrologic regime in the surrounding ground environment.

The passage under the rail track embankment was a separate technological chapter. With respect to results of measurements of the geoelectric quantities, it was necessary to implement passive measures to prevent negative effects of stray currents on the tunnel structure. The measurements were conducted within a section extending 25m to both sides of the rail track centre line. The surface of all segments was provided with a plastic coat consisting of an asphalt priming coat, a rubber-bitumen suspension coat and bitumen sheets (sheets without a metallic core). Joints between segments were provided with a primary coat and rubber-bitumen suspension during the ring erection. The suspension was applied at a thickness guaranteeing that the protection would not be interrupted (when the next segment was being installed it exerted a pressure on the previous one and the excess rubber bitumen mass was squeezed out of the joint and fused with the bitumen layer protecting the outer surface of the ring).

Muck was transported from the excavation face to the hoisting shaft by rail. A muck car was lifted by an OVJ-75.1 crane. A separate, combined ventilation system was designed for the tunnel, using an APXE fan with dust extraction and noise suppression systems installed.

When the tunnel had broken through into the end shaft Š12, the final finishes were taken up. The joints were pointed throughout the tunnel length using the Ergelit-KS1 mortar; the tunnel was provided with a unifying coat and a cambered concrete floor was cast on the bottom. Then galvanised steel structures fulfilling the main function of the tunnel to carry power cables were installed on both sides of the tunnel. The entire construction process was finalised by installing sensors, cables and measuring apparatuses securing and controlling the required operating environment in the tunnel.

IMPACT OF THE WORKS ON THE SURFACE

Part of the excavation process was also the execution of continual geotechnical monitoring (GTM), which was carried out by the

Samostatnou technologickou kapitolou byl podchod drážního tělesa, kde s ohledem na výsledky měření geoelektrických veličin bylo nutno přistoupit k provedení pasivních opatření pro zamezení negativních vlivů bludných proudů na konstrukci tunelu. Opatření se prováděla v rozsahu 25 m od osy dráhy. Povrch všech segmentů byl důsledně „oplaštován“ kombinací asfaltového penetračního nátěru, gumoasfaltové suspenze a bitumenových pásů (pásky bez kovové vložky). Ošetřeny byly i pracovní spáry mezi jednotlivými klenáky v okamžiku ukládání segmentů do ostění, a to pomocí penetračního nátěru a gumoasfaltové suspenze. Ta se nanášela v tloušťce zajišťující provedení nepřerušené ochrany – po dotlačení dalšího segmentu se ze spáry vytlačí přebytečná hmota gumoasfaltu, která se vně segmentu spojí s provedenou ochranou povrchu.

Doprava rubaniny z čelby do těžní šachty byla kolejová. Důlní vozík byl vytěžován jeřábem OVJ-75.1. V tunelu bylo navrženo separátní kombinované větrání pomocí ventilátoru APXE s instalací odprašovacího zařízení a tlumičů hluku.

Po proražení tunelu do koncové šachty Š12 bylo v díle přistoupeno k definitivním úpravám. V celé délce bylo provedeno vyspárování hmotou Ergelit-KS1, tunel byl opatřen sjednocujícím nátěrem a provedena spádovaná nabetonávka pochozího dna. Poté přišla ke slovu instalace ocelových pozinkovaných konstrukcí po obou stranách tunelu, jež budou sloužit k plnění hlavní funkce tunelu – vedení silových kabelů. Celá výstavba byla završena instalací čidel, kabelů a měřících přístrojů zajišťujících a kontrolujících požadované provozní prostředí v tunelu.

DOPAD PROVÁDĚNÍ DÍLA NA POVRCH

Součástí technologie ražby bylo i provádění kontinuálního geotechnického monitoringu (GTM), který realizovala firma Inset, s. r. o., divize diagnostiky stavebních konstrukcí. Monitoring byl zaměřen na sledování povrchu terénu, okolních objektů, geologie čelby a na zpřesnění předpovědi chování prostředí rizikových úseků (dráha a komunikace), před nimiž byly instalovány extenzometry. Výsledky všech měření byly hluboko pod stanovenými limity. Niveláčnické měření byla prováděna metodou přesné nivelace s přesností 0,2–0,5 mm a zpracována programem WinNivel, produktem společnosti Inset.

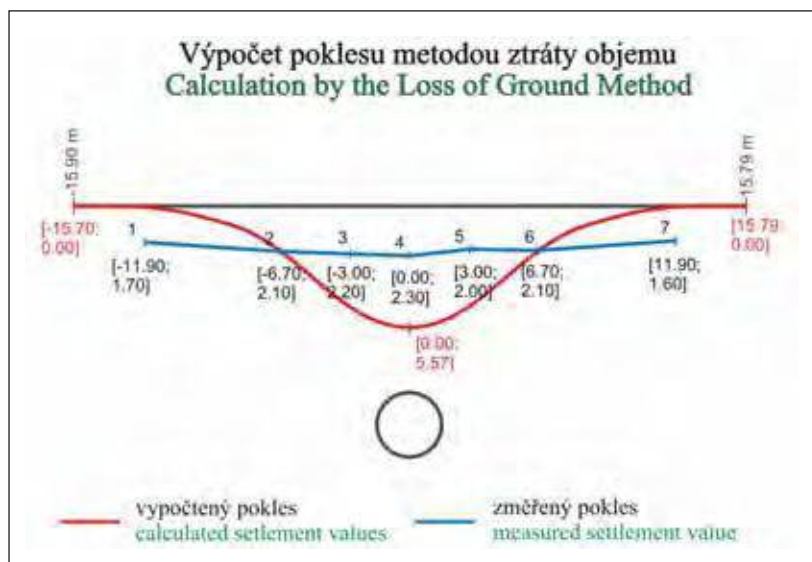
Na obrázku je srovnání vypočtených hodnot poklesů terénu v místě rychlostní komunikace se skutečně naměřenými hodnotami. V komunikaci byly umístěny 4 niveláčnické profily, vždy v krajnici každého směru. Výpočet poklesů metodou ztráty objemu předpokládal hodnotu až 10 mm. Skutečně naměřené hodnoty dosáhly nejvíce 2,3 mm, a to na prvním profilu ve směru ražby. Na ostatních profilech, kde byla podélná deformační vlna od čelby ztlumena masivní konstrukcí kufru komunikace, dosahovaly poklesy 1,3–0,8 mm. Obdobné výsledky byly i na všech ostatních niveláčnických profilech v trase díla. Výsledky GTM dosahovaly vynikajících hodnot na úrovni 1/3 předpokladu teoretického výpočtu.

ZÁVĚR

Výsledky geotechnického monitoringu, stejně jako vlastní bezproblémový a rychlý průběh výstavby, jednoznačně prokázaly správnost návrhu projektanta realizovat stavbu kabelového tunelu Zličín-Jih razicím štítem. Tato technologie podstatně zkrátila dobu výstavby, zaručila vysokou jednotnou kvalitu nosné konstrukce a investorovi ušetřila nemalé finanční prostředky. Po pouhých 9 měsících výstavby je tunel připraven k provozu. Kabelový tunel Zličín-Jih pro společnost PREdistribuce znamená dlouhodobou investici do spolehlivého velkokapacitního energetického propojení, díky kterému může rozsáhlá výstavba na Zličíně a okolí bez obav pokračovat.

ING. RADKO RIEGER, Bc. PETR CUPAL,
ko-ka@ko-ka.cz, KO-KA, s. r. o.

Recenzoval: doc. Dr. Ing. Jan Pruška



Obr. 6 Porovnání vypočtených a naměřených poklesů (Ing. Radko Rieger, Bc. Petr Cupal)

Fig. 6 Comparison of the calculated and measured settlement values (Ing. Radko Rieger, Bc. Petr Cupal)

Building Structures Diagnosis Division of Inset s.r.o. The monitoring was focused on observing the terrain surface, surrounding buildings, geology at the excavation face and refining the anticipation of behaviour in the sections carrying the highest risk (the rail track and the road). Extensometers were installed before these sections. Results of all measurements were deep under prescribed limits. The levelling was carried out using the high precision levelling method with the accuracy of 0.2-0.5mm. The levelling results were processed by the WinNivel program, which was developed by Inset s.r.o.

A comparison of the calculated surface settlement values at the crossing with the expressway with actually measured values is presented in the picture. Four levelling stations were installed in the road surface; one station was established in each shoulder, in each direction of traffic. The calculation using the volume loss method assumed that the value would be up to 10mm. The actually measured values did not exceed 2.3mm (at the first station in the direction of excavation). At the other stations, where the longitudinal deformation wave propagating from the excavation face was damped by the massive structure of the roadbed, the settlement values reached 1.3 – 0.8mm. Similar results were obtained at all other levelling stations along the tunnel route. The GTM results reached excellent values, at one third of the values obtained by the theoretical calculation.

CONCLUSION

The results of the geotechnical monitoring, as well as the trouble free and fast course of the construction works, unambiguously proved that the designer's proposal to use a driving shield for the construction of the Zličín-South cable tunnel was correct. This technique significantly reduced the construction time, secured high quality of the load-bearing structure and saved substantial financial sums for the project owner. After a mere 9 months of construction work, the tunnel is ready to be operated. The Zličín-South cable tunnel means a long-term investment into a reliable large-capacity power connection for PREdistribuce a.s. The extensive development in Zličín and its surroundings can without fear continue owing to this investment.

ING. RADKO RIEGER, Bc. PETR CUPAL,
ko-ka@ko-ka.cz, KO-KA, s. r. o.

ODKAZY / REFERENCES

- Fine, s. r. o., software GEO 5 – Výrub, <http://www.fine.cz/geotechnicky-software/vyrub/>
Inset, s. r. o., software WinNivel a geotechnický monitoring, <http://www.inset.com/diagnostika-stavebnich-konstrukci.php>