

KABELOVÝ TUNEL PANKRÁC – PRAHA 4

ŘEŠENÍ DEFINITIVNÍCH KONSTRUKCÍ

PANKRÁC CABLE TUNNEL, PRAGUE 4

FINAL STRUCTURES DESIGN

PAVEL FATKA, JAROSLAV ŠÍMA, MICHAL SEDLÁČEK, IVAN KOVAČÍK

ÚVOD

V současné době se pozvolna chýlí ke konci stavba kabelového kolektoru Pankrác, který spolu s výstavbou nové transformovny 110/22 kV Pankrác (dále jen TR) zajistí kapacitní energetické napojení plánované administrativně-bytové výstavby na pankrácké pláni a okolí. Nový kolektor tak umožní vyvedení silových kabelů 22 kV z TR do potřebných směrů a strategické propojení s transformovny Karlov a Lhotka silovým kabelem 110 kV.

Článek představuje předpoklady statického návrhu konstrukce kabelového kolektoru, zkušenosti s vlastním prováděním konstrukcí a systém izolace proti podzemní vodě, čímž volně navazuje na článek zveřejněný v čísle 4/2007 Výstavba kabelového tunelu Pankrác – Praha 4.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE STAVBY

Investor:	PREdistribuce, a. s.
Zhotovitel:	SUBTERRA a. s., Divize 1
Název stavby:	Kabelový tunel Pankrác – TR 110/22 kV – Pankrác
Projektant:	KO-KA s. r. o.
Místo stavby:	Praha 4-Pankrác
Zahájení stavby:	03/07
Dokončení stavby:	08/08

PARAMETRY KABELOVÉHO KOLEKTORU

– celková délka stavby včetně technické komory a odbočných větví	462,55 m
– osová délka hlavní větve mezi šachtami K11 – K13	431,64 m
– průměrná výška nadloží	14,5 m – 17,8 m
– příčný profil „A“ kabelového kolektoru:	
světlá šířka/výška	2,6 m/3,1 m
světlý profil kolektoru	7,29 m ²
celkové množství betonu	1467,9 m ³
– příčný profil „B“ kabelového kolektoru:	
světlá šířka/výška	2,6 m/2,6 m
světlý profil kolektoru	6,03 m ²
celkové množství betonu	284,6 m ³
– příčný profil „technická komora – TK“:	
světlá šířka/výška	4,2 m/4,3 m
světlý profil kolektoru	16,1 m ²
celkové množství betonu	117,2 m ³
– šachta K11:	
celková hloubka šachty (od HTÚ)	20,7 m
hrubý průměr šachty/světlý průměr šachty	5,2 m/4,2 m
celkové množství betonu	149,5 m ³
– šachta K12:	
celková hloubka šachty	15,5 m
hrubý průměr šachty/světlý průměr šachty	4,2 m/3,2 m
celkové množství betonu	
provedeno v předstihu	
– šachta K13:	
celková hloubka šachty	15,8 m
hrubý průměr šachty/světlý průměr šachty	4,2 m/3,2 m
celkové množství betonu	
provedeno v předstihu	

SITUAČNÍ UMÍSTĚNÍ KABELOVÉHO KOLEKTORU

Trasa kolektoru začíná šachtou K11, napojením na transformovnu 110/22 kV Pankrác, která je v současné době rovněž ve výstavbě. Odtud pokračuje ulicí Na Strži pod tělesem pražské magistrály na pankráckou

INTRODUCTION

The construction of the Pankrác cable tunnel is currently slowly nearing completion. The tunnel, together with the construction of the new Pankrác transformer station 110/22kV (hereinafter referred to as the TR), will provide a capacity power connection for the planned administration and residential development on the Pankrác plain and in its neighbourhood. The new utility tunnel will make the routing of 22kV conductor cables in required directions possible and will allow the strategic connection with the Karlov and Lhotka transformer stations by an 110kV conductor cable.

This paper presents the assumptions of the structural analysis of the cable tunnel structure, the experience of the construction work and the waterproofing system. It is a loose continuation of the paper which was published in issue No. 4/2007 of Tunel "Pankrác cable tunnel construction in Prague 4"

BASIC PROJECT DATA

Owner:	PREdistribuce, a.s.
Contractor:	SUBTERRA a.s., Division 1
Project name:	Pankrác Cable Tunnel – Pankrác TR 110/22 kV
Designing engineer:	KO-KA s. r. o.
Project location:	Prague 4 - Pankrác
Works commencement:	03/07
Works completion:	08/08

CABLE TUNNEL PARAMETERS

- aggregate length, including a technical chamber and branches	462.55m
- axial length of the main tunnel branch between shafts K11 – K13	431.64m
- overburden average height	14.5m – 17.8m
- cable tunnel cross-section „A“:	
net tunnel width / height	2.6m / 3.1m
net cross sectional area of the tunnel	7.29m ²
total volume of concrete	1467.9m ³
- cable tunnel cross-section „B“:	
net tunnel width / height	2.6m / 2.6m
net cross sectional area of the tunnel	6.03m ²
total volume of concrete	284.6m ³
- “Technical chamber - TC” cross section:	
net width / height	4.2m / 4.3m
net cross sectional area of the tunnel	16.1m ²
total volume of concrete	117.2m ³
- shaft K11: total shaft depth (from the grade level)	20.7 m
excavated cross-section diameter / net shaft diameter	5.2m / 4.2m
total volume of concrete	149.5 m ³
- shaft K12: total shaft depth	15.5m
excavated cross-section diameter / net shaft diameter	4.2m / 3.2m
total volume of concrete	built in advance
- shaft K13: total shaft depth	15.8m
excavated cross-section diameter / net shaft diameter	4.2m / 3.2m
total volume of concrete	built in advance

CABLE TUNNEL LAYOUT

The cable tunnel route begins by the shaft 11, the connection to the Pankrác 110/22kV transformer station, which is currently also under construction. From this point it continues along Na Strži Street, under the embankment of the so-called "Prague Backbone Road" to the Pankrác



Obr. 1 Situace kabelového kolektoru
Fig. 1 Cable tunnel layout

plán do křižovatky ulic Na Pankráci – Budějovická, kde je ukončen v šachtách K12 a K13. V místě této dopravně velmi exponované křižovatky je vyústění kabelů do investorem požadovaných směrů pro propojení kabelů 22 kV a dvou kabelů 110 kV do TR Karlov a TR Lhotka. Vzhledem ke geologickým podmínkám je kolektor umístěn v hloubce 16 m–18,8 m, v jednotném spádu 0,75 % k šachtě K11, kde se nachází čerpací jámka, odkud jsou sváděné průsakové vody přečerpávány do kanalizační přípojky TR Pankrác. Směrové i výškové vedení kolektoru bylo koordinováno se stávající i plánovanou výstavbou tras podzemní dráhy – stávající trasy C a plánovaných tras D a E.

DEFINITIVNÍ KONSTRUKCE KABELOVÉHO KOLEKTORU

Definitivní konstrukce kabelového kolektoru je navržena ke spolehlivému provozování s minimální životností 100 let, s primární ochranou proti agresivnímu prostředí podzemní vody a korozním účinkům bludných proudů z přilehlých a plánovaných tras metra. Navrhovaná konstrukce kolektoru respektuje tyto nepříznivé vlivy okolního prostředí. Při jejím návrhu je uvažováno se zatížením od vlastní tíhy konstrukce, horninového prostředí a zejména hydrostatického tlaku, protože celá stavba kolektoru se nachází pod hladinou podzemní vody. Výška vodního sloupce je uvažována na výšku ustálené hladiny podzemní vody s výpočtovou rezervou, tedy 10 m. Navržená konstrukce plní statickou funkci a zároveň vytváří požadované prostředí pro optimální provoz v kabelovém kolektoru. Z toho vyplývá jeden ze základních provozních požadavků bezpodmínečného dodržení vnitřních rozměrů, tedy maximální přesnosti při provádění definitivní konstrukce. Provizorní konstrukce není součástí konstrukce definitivní, tvarově však na sebe úzce navazují.

Příčný profil kabelového kolektoru má podkovovitý tvar, který se skládá z kruhové klenby tl. 250 mm, svislých opěr tl. 250 mm a rovného dna tl. 300 mm, s nabetonovanou čistou spádovou podlahou tl. 100 mm s odvodňovacím žlábkem. Tyto hodnoty jsou shodné pro všechny základní profily kabelového kolektoru, tzn. profily A, B a TK. Staticky lze kolektor zařadit jako deskostěnovou konstrukci, u které jsou kritické průřezy posouzeny na kombinaci tlaku s ohybem a na smyk.

Definitivní ostění je prováděno z litého betonu C 25/30 – XA2 SVC – XC2 – Dmax 16 – S5 s hydroizolační přísadou na bázi sekundární krystalizace XYPEX ADMIX C1000 v množství 1–2 % z objemu cementu, vyztuženého prutovou výztuží 10 505 R a svařovanými sítěmi SZ 8/100 – 8/100 mm. Vnitřní krytí výztuže je 30 mm, vnější krytí potom 50 mm. Z důvodu zamezení vzniku smršťovacích trhlin v betonu jsou do betonové směsi přidána monofilamentní polypropylenová vlákna v množství 0,6 kg/m³ betonu. Pro stavbu tak byly vybrány druhy čerstvých betonů vhodných vlastností, podle předpokládaných technologických nároků s ověřenými výslednými vlastnostmi, které odpovídaly zadaným požadavkům. Výroba těchto betonů je ověřena certifikací a je dokladována Prohlášením o shodě výrobce podle zákona č. 22/1997.

VÝPOČTOVÝ MODEL

Statický výpočet definitivního ostění řeší stanovení průběhů a velikostí vnitřních sil, stanovení hlavních napětí, šířky trhlin a deformace. Výpočet zohledňuje skutečnost, že v definitivním ostění dochází již při vzniku velmi malých trhlin ke zmenšení tuhosti průřezu a k následnému přerozdělení vnitřních sil do méně namáhaných oblastí. Dochází tedy k redistribuci vnitřních sil ještě před dosažením mezních stavů. Do výpočtu je dále zahrnut tvar a plocha betonářské výztuže, neboť procento vyz-

plain, to the intersection of Na Pankráci – Budějovická Streets, where it ends in the shafts K12 and K13. This busy traffic intersection is the place from which cables branch to lead to directions required by the client for the connection of 22kV cables and two 110kV cables to the Karlov TR and Lhotka TR. Because of geological conditions, the cable tunnel is located at a depth of 16 – 18.8m. It descends on a uniform gradient of 0.75% to shaft K11, where the pumping shaft is located. Seepage water is re-pumped from the shaft to a sewerage branch for the Pankrác TR. The horizontal and vertical alignment of the cable tunnel was co-ordinated with both the existing and planned construction of Prague metro, i.e. the existing C Line and planned D and E Lines.

CABLE TUNNEL FINAL STRUCTURE

The final structure of the cable tunnel is designed with the aim of securing a minimum of 100-year reliable operation, with primary protection against the corrosive environment of ground water and detrimental effects of stray currents generated by the adjacent and planned metro lines. The design respects the location. It was calculated for the loading consisting of the dead weight of the structure, confining pressure and, above all, the hydrostatic pressure because the entire tunnel structure is found under the water table. The height of water column is considered to correspond to the standing water table level with a reserve, i.e. 10m. The structure fulfils the structural, load-bearing function and, at the same time, provides required environment for optimum operation in the cable tunnel. This means that one of basic operating requirements is the unconditional maintenance of internal dimensions, i.e. maximum accuracy during the construction of the final structure. The temporary structure is not part of the final structure, but both structures are closely related in terms of the shape.

The cable tunnel cross section is horseshoe-shaped, consisting of a 250mm thick circular vault, 250mm thick vertical side walls and a 300mm thick flat bottom with a cambered, 100mm thick concrete layer on its top, forming a net floor with a drainage channel. These values are identical for all of the basic cross sections of the cable tunnel, i.e. the cross sections A, B and TK. Structurally, the cable tunnel can be categorised as a plated structure, where critical sections are calculated for a combination of pressure with bending moments and shear forces.

The final lining is of C 25/30 - XA2 SVC - XC2 - Dmax 16 - S5 cast in situ concrete with a permeability-reducing, secondary crystallisation based admixture XYPEX ADMIX C1000, which is added in the amount of 1-2% of the cement volume. The concrete is reinforced with 10 505 R steel bars and SZ 8/100 – 8/100mm welded mesh. The internal concrete cover and external concrete cover is 30mm and 50mm respectively. Polypropylene monofilament in the amount of 0.6 kg per m³ of concrete is added to the concrete mixture to prevent shrinkage cracks from developing. Thus the properties of the types of green concrete which were chosen for the construction were adequate for the anticipated technological requirements, with verified resultant properties corresponding to the defined requirements. The production of these concrete types is certified and documented by producer's Declaration of conformance according to the Law No. 22/1997 Coll.

CALCULATION MODEL

The structural analysis of the final lining determines the variation of bending moments and internal forces, main stresses, width of cracks and deformations. The calculation allows for the fact that even the origination of small cracks causes the reduction in the stiffness of the final lining cross section and, subsequently, redistribution of internal forces to areas which are under smaller stress. This means that the redistribution of internal forces takes place before the ultimate states are reached. The shape and cross sectional area of concrete reinforcement is also incorporated in the calculation because the reinforcement content in the particular sections is not constant and the sections with greater flexural stiffness exhibit smaller deformations and higher values of stress.

The final lining analysis was carried out using a non-linear method (material and geometrical analysis). The ATENA 2D version 3.3.0 was chosen for the numerical modelling during the calculation simulation. The non-linear model of concrete is defined by the "3D Non-linear Cementitious 2" material. This material model very appositely characterises the behaviour of concrete in terms of tension (the origination and propagation of tension cracks). It is based on the non-linear fracture mechanics and incorporates the reduction in the strength of the material after the origination of cracks.

The main parameters of the 3D Non-linear Cementitious 2 material are tensile strength and energy to fracture. A special theory of plasticity was

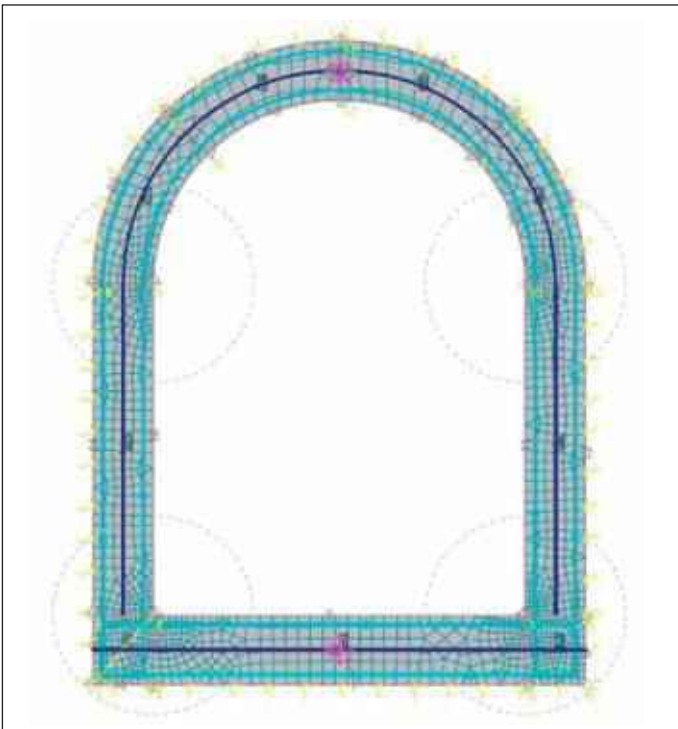


Obr. 2 Betonáž definitivní konstrukce kolektoru
Fig. 2 Casting of the final structure of the cable tunnel

tužení v jednotlivých průřezích není konstantní a průřezy s větší ohybovou tuhostí vykazují menší deformace a větší hodnoty napětí.

Pro vyšetřování definitivního ostění bylo použito nelineární analýzy (materiálové i geometrické). Při počítačové simulaci byl pro numerické modelování zvolen program ATENA 2D verze 3.3.0. Nelineární model betonu je zde definován materiálem "3D Non linear cementitious 2". Tento materiálový model velmi výstižně charakterizuje chování betonu v tahu (vznik a šíření tahových trhlin), vychází z nelineární lomové mechaniky a zahrnuje změkčení materiálu po vzniku tahových trhlin.

Hlavními parametry materiálu "3D Non linear cementitious 2" jsou pevnost v tahu a lomová energie. Pro modelování betonu v tlaku je zvolena speciální teorie plasticity, která zohledňuje podstatná specifika chování materiálu: změnu objemu materiálu při plastickém přetváření



Obr. 3 Numerický model
Fig. 3 Numerical model

selected for the modelling of concrete behaviour under pressure; the theory allows for significant specifics in the material behaviour, i.e. the change in the volume of the material during plastic deformations and the dependence of compressive strength of concrete on triaxial stress (the influence of transverse clamping on the increase in the compressive strength).

The input parameters for the assessment of the stress condition comprise the equivalent normal stresses (both principal stresses) and the respective relative deformations. These parameters are used for the determination of the condition of the material (the E modulus of elasticity value), then the stresses calculations follow.

As shown in the picture of the tunnel bottom reinforcement which resulted from the calculation model, the simplicity of the design of shapes of individual reinforcement bars in the bottom and corners of the tunnel makes it possible during the work on the final lining to cope with contingent deviations of the temporary structure (a monitoring margin and tolerances of the surface of the shotcrete) whilst the designed internal dimensions of the tunnel as well as the required concrete cover are maintained.

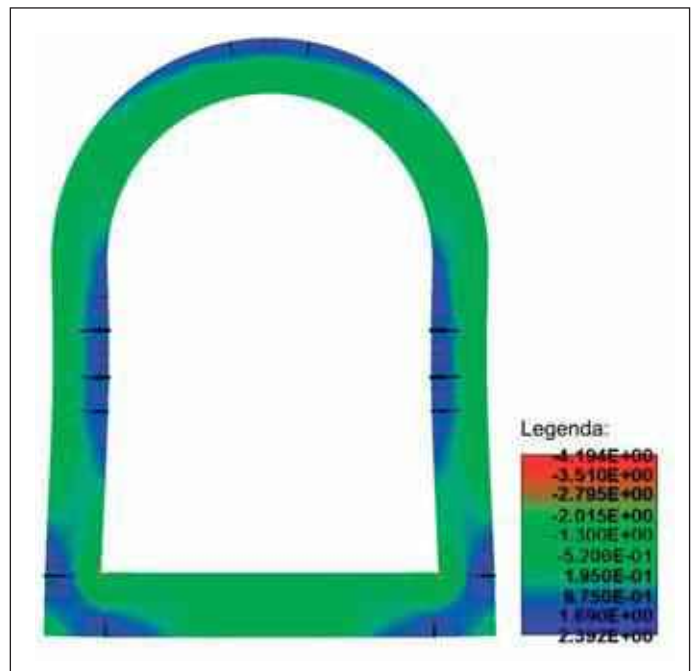
WATERPROOFING SYSTEM

In contrast to other underground structures where the waterproofing system comprises a PVC membrane combined with shotcrete, the waterproofing system applied to the Pankrác cable tunnel is based on a process of internal crystallisation of an admixture in the concrete mix used for the final structure, together with the thorough treatment of all structural and expansion joints between individual casting blocks and working steps. The combination of the waterproofing admixture to concrete with the systematic treatment of joints allows the builders to leave out the technological step of the installation of a waterproofing membrane, thus the construction process is accelerated and the continuity of the casting of the final structure is improved. This technique makes very simple and quick sealing of any leak which may appear in the structure possible, directly in the leakage location.

A non-negligible function of internal crystallisation based waterproofing admixtures is also the protection of the tunnel concrete reinforcement against corrosion, which means an increase in its life length.

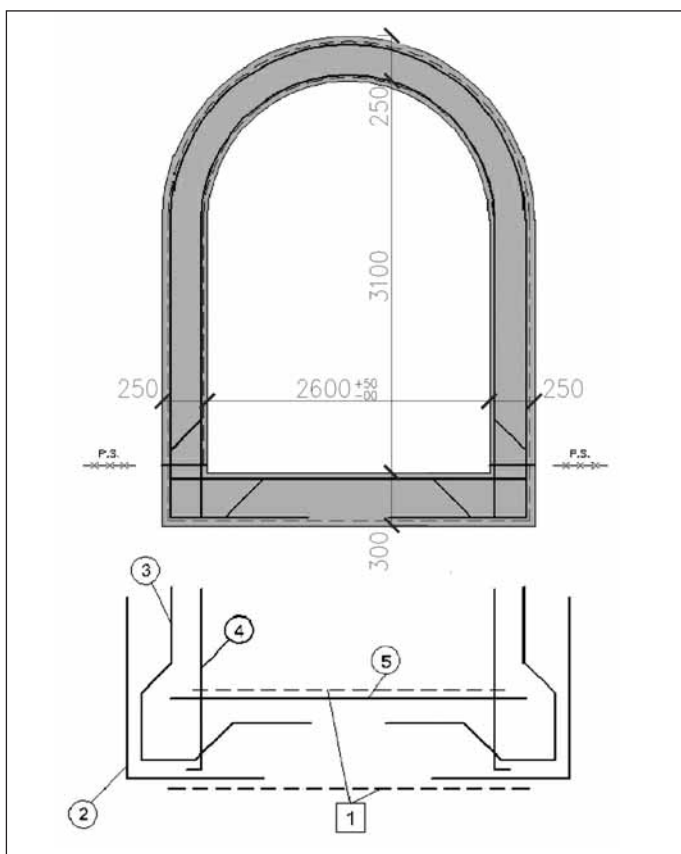
TREATMENT AND SEALING OF CONSTRUCTION JOINTS

Vertical construction joints form at the same time the locations predetermined to failing. The cross section is weakened in these locations and the origination of cracks induced by volumetric changes in



Obr. 4 Výpočtový model – hlavní napětí [MPa], (modrá reprezentuje tah, červená tlak)

Fig. 4 Calculation model – principal stress [MPa] (tension in blue colour, compression in red)



Obr. 5 Detail výztuže ve dně kolektoru

Fig. 5 Detail of the cable tunnel bottom reinforcement

a závislost tlakové pevnosti betonu na trojosé napjatosti (vliv příčného sevření na zvýšení tlakové únosnosti).

Vstupními parametry pro vyhodnocování stavu napětí jsou ekvivalentní normálová napětí (obě hlavní napětí) a příslušné poměrné deformace. Z těchto parametrů je určen stav materiálu (hodnota modulu pružnosti E) a následně jsou dopočítána napětí.

Jak ukazuje obrázek vyztužení dna kolektoru, které vychází z výpočtového modelu, jednoduchost návrhu tvarů jednotlivých výztužných prutů v podlaze a rozích kolektoru umožňuje v rámci definitivní konstrukce řešit možné tolerance provizorní konstrukce (rezerva monitoringu a tolerance povrchu stříkaného betonu) při dodržení daných vnitřních rozměrů kolektoru a zároveň požadovaném krytí výztuže.

SYSTÉM IZOLACE PROTI PODZEMNÍ VODĚ

Oproti jiným podzemním stavbám, kdy je systém vodotěsné izolace řešen převážně pomocí PVC fólie v kombinaci se stříkanými betony, je v kabelovém kolektoru Pankrác hydroizolační systém tvořen použitím přísady na bázi vnitřní krystalizace do lité betonové směsi definitivní konstrukce v kombinaci s důsledným ošetřením všech pracovních a dilatačních spojů mezi jednotlivými segmenty a pracovními záběry. Kombinace hydroizolační přísady do betonu se systémovým řešením spojů umožňuje vynechat technologický krok pokládky izolací, čímž urychluje vlastní provádění stavby a kontinuitu betonáže definitivní konstrukce. V případě výskytu jakýchkoli netěsností v konstrukci umožňuje tato technologie velmi jednoduché a rychlé odstranění průsaků přímo v místě poruchy.

Nezanedbatelnou funkcí hydroizolačních přísad na bázi vnitřní krystalizace je také ochrana výztuže kolektoru před procesem koroze, čímž se zvyšuje její životnost.

OŠETŘENÍ A TĚSNĚNÍ PRACOVNÍCH SPÁR

Svislé pracovní spáry tvoří současně místa předurčeného porušení. V těchto místech je vytvořen zeslabený průřez a je zde počítáno se vznikem trhlin, které jsou vyvolány objemovými změnami betonu (objemové změny v důsledku změn teploty při hydrataci a objemové změny v důsledku smršťování). K zajištění vodotěsnosti pracovních spár je zvolena kombinace opatření: vnější těsnící PVC pás a expandující pásek, čímž se pracovní spára z hlediska vodotěsnosti stává velmi bezpečnou.

concrete (volumetric changes resulting from changes in the temperature during the hydration and volumetric changes due to the shrinkage) is expected. The waterproofing of construction joints is provided by means of a combination of measures consisting of an external PVC waterstop and a hydrophilic sealing gasket, owing to which the construction joint becomes very safe in terms of the waterproofing capacity.

Horizontal construction joints between the tunnel bottom and walls were treated by a combination of a starter stub (a germ of the wall), an external PVC waterstop and a hydrophilic sealing gasket. A special factory-made crossing element was used at the contacts with vertical construction joints. This element allows systematic connection of horizontal and vertical PVC waterstops. Owing to the combination of the above-mentioned measures, the construction joint becomes again very safe in terms of the waterproofing capacity.

Expansion joints are used to separate the parts of the structure which act differently in terms of their static action. In practice, it is the case of separation of the final structure of the cable tunnel from the final structure of branches and shafts. The waterproofing of the expansion joints is provided by means of a combination of measures, consisting of an internal PVC waterstop, hydrophilic cartons or hydrophilic gaskets and PVC confinement sections.

All joints were treated by a XYPEX CONCENTRATE waterproofing coat.

CONSTRUCTION TECHNIQUE

The concrete casting operations were organised linearly. The horseshoe-shaped cross section of the cable tunnel offered the possibility to divide the profile to be cast into the bottom with a 20cm high starter stub (allowing easier cleaning of the construction joint) and the vault together with the remaining parts of the walls. The length of the casting blocks of the bottom depended on the directions of the tunnel and radii of curves. In long straight stretches, the bottom with the germs of the walls was cast in 15m long blocks. Subsequently, the vault was cast in 7.5m long blocks. In short straight stretches, the bottom and vault were cast in 7.5m long blocks. On curves, the length of both the bottom and vault casting blocks was reduced to 2.5m. Mobile systematic PERI formwork was used for the casting in these sections.

The casting of the four 4m long blocks in the technical chamber was different. The bottom with the starter stubs was cast first, then the walls were cast using a wall forming system, and the vault was concreted in the end, using atypical formwork elements.

The construction process before the casting of the final structure itself consisted of the cleaning of the tunnel bottom, laying of a 100mm diameter working drain, covering of the drain with gravel and placement of C 16/20 X0 blinding concrete with the minimum thickness of 100mm, in 50m long tunnel sections at a time. Then a shotcrete layer was applied and its surface was levelled at the locations of longitudinal



Obr. 6 Betonáž klenby technické komory

Fig. 6 Casting of the vault of the technical chamber

Vodorovné pracovní spáry mezi dnem a stěnou kolektoru byly ošetřeny kombinací odsazení pracovní spáry (zárodek stěny), vnější těsnící PVC pás a expandující pásek. V místě styku se svislou pracovní spárou byl použit speciální továrně vyrobený křížový dílec, který umožní systémové propojení vodorovných a svislých PVC pásů. Kombinací těchto opatření se pracovní spára z hlediska vodotěsnosti stává opět velmi bezpečnou.

Dilatační spáry slouží k separaci staticky rozdílně působících částí konstrukce. Prakticky se jedná o oddělení definitivní konstrukce kolektoru od definitivní konstrukce spojek a šachet. K zajištění vodotěsnosti dilatačních spár byla provedena kombinace opatření: vnitřní dilatační PVC pás, expandující kartony, popř. expandující pásek a ukončovací profily z PVC.

Všechny spáry byly ošetřeny izolačním nátěrem XYPEX CONCENTRATE.

TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ

Organizace betonářských prací probíhala liniově. Příčný podkovitý tvar kolektoru nabízel členění betonářského záběru na dno kolektoru se zárodkem stěn výšky 20 cm, pro snadnější začátek této pracovní spáry, a betonáž klenby včetně zbytku stěn najednou. Podle směrů kolektoru a poloměru zakřivení oblouků bylo dno kolektoru se zárodkem stěny betonováno v dlouhém rovinném úseku v záběru délky 15 m, klenba byla následně betonována v záběru 7,5 m. V krátkém rovinném úseku byly betonovány dno i klenba v záběru 7,5 m. V obloucích byla délka záběru dna i klenby 2,5 m. Pro bednění těchto úseků bylo použito posuvné systémové bednění PERI.

Odlíšné byly 4 záběry v technologické komoře o délce 4 m, kde probíhala nejprve betonáž dna se zárodkem, následně betonáž stěn, s použitím systémového bednění a nakonec betonáž klenby, za použití atypických dílů bednění.

V technologických krocích před vlastní betonáží definitivní konstrukce probíhalo čištění dna kolektoru a položení pracovní drenáže \varnothing 100 mm, s následným šterkovým zásypem a betonáží podkladních betonů C 16/20 X0 min. tloušťky 100 mm po úsecích délky 50 m. V místech podélných a příčných spár byly následně osazeny izolačních PVC pásy spolu s nástřikem vyrovnávací vrstvy betonu pod tyto pásy. Provedený drenážní systém byl udržován ve funkci po celou dobu stavby, čímž byla snižována hladina podzemní vody a její tlak za provizorním ostěním kolektoru.

Na stavbu byla betonová směs dopravována automodířovači TATRA, ze kterých byla spouštěna šachtou betonážním potrubím do manipulačního vozu CARMIX 2000 F a těmi horizontálně dopravována kolektorem na místo zpracování. K uložení betonu do konstrukce bylo použito pístové čerpadlo PUTZMEISTER BSA 1408 E.

Vlastní plnění formy bylo prováděno otvory v klenbě formy. Důležité bylo střídavé plnění obou stran bednění a postupné vibrování příložnými vibrátory. V technické komoře byla vzhledem k velikosti profilu v bednění doplněna kontrolní „okna“ a vyplnění formy bylo dále kontrolováno pomocí odvětrávacích otvorů a skrz čítko formy.

Pro dosažení dostatečné technologické pevnosti betonu a zároveň optimální rychlosti provádění prací bylo jedním z problémů řešených při výstavbě nalezení optimálního složení betonové směsi. Navržené příměsí totiž zpomalovaly náběhy pevnosti betonové konstrukce tak, že posun na další betonářský záběr byl možný po 28–30 hodinách i při zajištění optimální teploty zrání betonu. Po vzájemných konzultacích a spolupráci technologa betonových směsí, dodavatele příměsí XYPEX a projektanta byl nakonec vybrán urychlovač BETODUR A3, který se ukázal jako dobrá investice do betonové směsi. Stanovením jeho optimálního množství bylo dosaženo rychlejších náběhů pevnosti betonu, což umožňovalo odbednění formy po 18–20 hodinách. Toto řešení umožnilo splnit stanovený termín dokončení betonáží. Vhodnost použití urychlovače byla ověřena zkouškami, které prokázaly, že použití zvoleného urychlovače nemá vliv na kvalitu pevnosti a nasákavosti betonu.

ZÁVĚR

Jak bylo konstatováno v předcházejícím článku, správnou součinností týmu realizace stavby a projektanta, jejich flexibilní reakcí na velice složité podmínky výstavby a včasným řešením problémů vzniklých při stavbě, lze dosáhnout velmi dobrého výsledku práce, a to bez jakýchkoli vlivů na vnější okolí.

ING. PAVEL FATKA, fatka@ko-ka.cz, KO-KA s. r. o.,
ING. JAROSLAV ŠÍMA, jsima@subterra.cz, SUBTERRA a. s.,
ING. MICHAL SEDLÁČEK, sedlacek@ko-ka.cz, KO-KA s. r. o.,
IVAN KOVAČÍK, kovacik@nekap.com, NEKAP, spol. s. r. o.
Recenzoval: Ing. Václav Torner



Obr. 7 Montáž ocelových konstrukcí kolektoru
Fig. 7 Installation of steel structures in the cable tunnel

and transverse joints to provide a substrate for PVC waterstops. The drainage system was maintained in function throughout the construction. It lowered the water table and reduced the hydraulic pressure on the temporary lining of the tunnel.

Concrete was transported to the construction site by a TATRA mix truck. It was lowered to the shaft through a pipeline and discharged to a CARMIX 2000 F carriage, which transported it horizontally to the casting location. The concrete was placed using a piston pump PUTZMEISTER BSA 1408 E.

The formwork was filled with concrete through gates in the formwork vault. It was necessary to place concrete alternately on both sides and to compact it by external vibrators. Because of the dimensions of the profile of the technical chamber, the inspection "windows" were added and the filling of the formwork was further checked by means of breathing holes and through the stop end of the form.

The design of an optimum concrete mixture which would provide sufficient technological strength and, at the same time, would allow optimum speed of the operations was one of the problems which were solved during the construction. The admixtures which were designed reduced the rate of development of strength of concrete structures. The moving of the formwork to the next casting block was possible after 28 – 30 hours despite the fact that the optimum temperature for concrete curing was maintained. Eventually, after joint consultations and collaboration with a concrete technologist, supplier of XYPEX admixtures and the designer, BETODUR A3 accelerator was selected. It turned out to be a good investment made in the concrete mixture. Faster development of concrete strength was achieved by the determination of optimum dosing of the accelerator; thus the formwork striking could take place after 18 – 20 hours. Owing to this solution the deadline for the completion of concrete casting was met. The suitability of the use of the accelerator was verified by tests, which proved that the use of the selected accelerator did not negatively influence the strength and absorption of the concrete.

CONCLUSION

As stated in the previous paper, very good results of the work, without any negative impacts on the surroundings, can be achieved through flexible responses to very complicated construction conditions and prompt dealing with problems originating on site, if the team consisting of the contractor's and designer's staff properly cooperate.

ING. PAVEL FATKA, fatka@ko-ka.cz, KO-KA s. r. o.,
ING. JAROSLAV ŠÍMA, jsima@subterra.cz, SUBTERRA a. s.,
ING. MICHAL SEDLÁČEK, sedlacek@ko-ka.cz, KO-KA s. r. o.,
IVAN KOVAČÍK, kovacik@nekap.com, NEKAP, spol. s. r. o.