

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ TUNELŮ SOKP 513 - OD PROJEKTU K REALIZACI

FINAL LINING OF TUNNELS ON PRAGUE CITY RING ROAD, CONSTRUCTION LOT 513 - FROM THE DESIGN TO THE CONSTRUCTION

**RADAN BOHMAN, LIBOR MAŘÍK,
PAVEL STIBAL**

Betonáž definitivního ostění tunelů má specifika, která je nutno při zpracování realizačního projektu i při vlastní realizaci akceptovat. Možných postupů výstavby i řešení technických detailů je zpravidla celá řada. Nalezení a propracování jediného správného postupu pro daný tunel je společným úkolem projektanta realizační dokumentace i zhotovitele díla. Přístup projektanta k problematice nemusí vždy úplně korespondovat s přístupem zhotovitele. Cílem úzké týmové spolupráce mezi oběma partnery je nalezení přijatelného kompromisu. Článek popisuje technické detaily, které zásadně ovlivňují způsob provádění tunelového ostění na příkladu dvoupruhového silničního tunelu stavby SOKP 513. Během výstavby došlo k řadě změn, které pozitivním způsobem ovlivnily technické řešení i postup výstavby a mohou být čtenáři inspirací při výstavbě či projektování dalších tunelů. Jako při každé stavbě tunelu se projektant i zhotovitel potýkali s řadou problémů. I tyto zkušenosti následující text uvádí a dává čtenáři k dispozici použítá a při výstavbě ověřená řešení.

The casting of final liners of tunnels has its own specifics which must be accepted while working on the detailed design and during the construction itself. There are usually many possible construction procedures and solutions to technical details available. Finding and elaborating the only procedure which is correct for the particular tunnel is a common task for the detailed design consultant and the construction contractor. Consultant's attitude toward particular problems does not have always to correspond to contractor's approach. The aim of team collaboration between the two parties is to find an acceptable compromise. The paper describes technical details significantly influencing the method for casting of a tunnel lining, using the double-lane road tunnel on

construction lot #513 of the Prague City Ring Road as an example. Many changes which positively influenced the technical solution and construction procedure were made during the construction. They may provide inspiration for readers when constructing and/or designing new tunnels. Much as in case of any tunnel construction project, the consultant and contractor had to cope with numerous problems. This experience is also presented in the text below, together with the solutions used and verified during the construction, which are put at readers' disposal.

Stavba 513 jako součást Silničního okruhu kolem Prahy (SOKP) představuje se souběžně realizovanými stavbami 512 a 514 významnou část okruhu. Po plánovaném uvedení do provozu v první polovině roku 2010 dojde díky propojení dálnic D1 a D5 k Pražany tolik očekávanému odlehčení středu města od osobní a především nákladní dopravy.

K stavebně náročným objektům stavby 513 patří kromě mostu přes Vltavu i směrově rozdělené téměř 2 km dlouhé tunely, které stoupají od Komořan směrem k Cholupicím ve 4% sklonu. Na 170 m dlouhý hloubený úsek tunelů na komořanské straně navazuje ražená část tunelů délky 1 678 m v jižní třípruhové, resp. 1 680 m v severní dvoupruhové tunelové troubě. Na cholupické straně přechází ražené tunely opět do hloubeného úseku délky 85 m v jižní třípruhové a 72 m v severní dvoupruhové troubě.

Hloubené tunely jsou prováděny v otevřené stavební jámě a po dokončení železobetonové klenbové konstrukce a fóliové izolace jsou oba tunelové tubusy zpětně zasypány. Na rozdíl od hloubených tunelů komořanského úseku, jejichž základové poměry tvoří písky vltavské terasy, jsou hloubené tunely cholupického portálu založeny na poměrně kvalitní skalní hornině.

Součástí podzemního díla je i vzduchotechnický objekt Nouzov, který slouží pro případ, kdy by koncentrace škod-

livin v tunelu a zejména v oblasti cholupického portálu přesáhla povolené meze. V takovém případě by došlo k odsávání znečištěného vzduchu z obou tunelů a k přivodu čerstvého vzduchu do stupačice třípruhového tunelu. Tím se sníží koncentrace škodlivin ve vzduchu hnaném jednak komínovým efektem, jednak pístovým efektem dopravního proudu směrem k cholupickému portálu.

V dalším textu se budeme podrobněji zabývat betonovými konstrukcemi části podzemního díla prováděného společností Subterra, tj. hloubenými tunely Cholupice, raženým dvoupruhovým severním tunelem a vzduchotechnickým objektem Nouzov.

PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ TUNELŮ V ÚROVNI REALIZAČNÍ DOKUMENTACE

Projektant realizační dokumentace stavby (RDS) stojí při zahájení prací před obtížným úkolem. Zadávací dokumentace zpravidla není rozpracována do potřebných detailů, a proto je nutné koncepci ražených i hloubených úseků tunelů rozmyslet od fáze ražby a primárního ostění přes provádění izolací a drenáží až k vlastní betonáži definitivního ostění.

Koncepční řešení však sahá ještě mnohem dál, neboť ve stísněném prostoru tunelu vše souvisí se vším a všechny konstrukce v něm umístěné se více či méně vzájemně ovlivňují. Před zahájením prací na realizační dokumentaci ražeb a primárního ostění je proto nutné domýšlet technické řešení až do úrovně provádění kabelovodů, požárního vodovodu, chodníků, výklenků, propojek a vlastní vozovky. Jediné opomenutí souvislostí může mít v budoucnu fatální následky a sanace chyb zpravidla představuje velké komplikace s dopadem do doby výstavby i výše investičních nákladů.

Blokové schéma betonáže ostění

Původní návrh dle zadávací dokumentace předpokládal betonáž definitivního ostění tunelů stavby 513 po pasech délky 10 m. Po zvážení všech pozitiv a negativ rozhodl

zhotovitel po projednání s investorem o prodloužení bloku betonáže na 12 m, což má pozitivní dopad na rychlost provádění.

K prestiži projektanta RDS patří takový návrh technického řešení, který zhotoviteli maximálně usnadní provádění při zachování investorem požadovaných parametrů díla. V případě návrhu blokového schéma se jedná o maximální snížení počtu typů bloků betonáže. Atypické bloky znamenají úpravy technologického postupu výstavby, přípravu atypické výztuže, komplikace při bednění, a s tím spojené zvýšené riziko vzniku chyb při provádění. Vzhledem k tomu, že délka tunelových trub není stejná, tunelové trouby neprobíhají paralelně a kromě výklenků čištění boční tunelové drenáže, požárních hydrantů a kabin SOS obsahují i tunelové propojky, byl návrh blokového schéma velmi obtížný.

Pro vytvoření blokového schématu si projektant stanovil následující okrajové podmínky:

- maximální počet bloků má jednotnou délku 12 m;
- sjednocení rozměrů výklenků požárního hydrantu a čištění drenáže;
- osa všech výklenků je v ose bloku betonáže;
- osa propojky je v ose bloku betonáže;
- krčky zaústění tunelových propojek jsou kolmé na blok betonáže;
- prostor pod chodníkem na obou stranách tunelu má stejné rozměry.

Návrh blokového schématu (obr. 1) vyšel z jižní třípruhové tunelové trouby, která byla v ražené části beze zbytku rozdělena na bloky betonáže délky 12 m. Následně došlo k rozmístění tunelových propojek tak, aby jejich vzdálenost nepřekročila maximální přípustnou mez (doporučeno 250 m, max. 300 m). Naproti zaústění tunelové propojky se nachází výklenek kabiny SOS, další výklenek kabiny SOS je umístěn zhruba do poloviny vzdálenosti mezi tunelovými propojkami. Výklenky požárního hydrantu se pak nacházejí proti výklenku kabiny SOS nebo v ústí tunelové propojky.

Díky navrženému uspořádání se v jižním tunelu podařilo dosáhnout minimálního počtu typů bloků betonáže:

- standardní blok,
- blok s výklenkem kabiny SOS a požárního hydrantu,

- blok s výklenkem kabiny SOS a ústím tunelové propojky,
- blok s výklenky šachet na čištění boční tunelové drenáže.

V severní tunelové troubě takováto optimalizace nebyla z čistě geometrických důvodů možná. Při dodržení uvedených okrajových podmínek se sice všechny krčky tunelových propojek i výklenky nacházely v ose bloku betonáže, před průnikem tunelu s tunelovou propojkou však vycházely bloky atypické délky kratší než 12 m. I když se tunel nachází v protisměrných obloucích a osu tunelu tvoří exaktně definované křivky, půdorysný tvar tunelu je polygonální, neboť bednicí vůz má obdélníkový půdorys a bloky betonáže jsou na osu tunelu navlečeny jako obdélníkové korálky. Pokud zhotovitel chtěl pro bednění bloků atypické délky použít stejné bednění jako na standardní bloky betonáže, musely atypické bloky osově ležet na jedné přímce se sousedním standardním blokem. Jinak by nebylo možné díky vedení trasy ve směrovém oblouku provést odbednění a posun bednicího vozu.

Na základě požadavku investora se v severním tunelu nacházely kromě nouzového pruhu šířky 1,5 m i dva nouzové zálivy. Díky tomuto požadavku se počet typů bloků betonáže zvětšil ještě o blok standardního nouzového zálivu (zvětšený profil) a blok nouzového zálivu se zaústěním průjezdné tunelové propojky. Všechny průjezdné i průchozí tunelové propojky mají v případě tunelů SOKP 513 stejný tvar, neboť část prostoru průchozích propojek se využívá pro technologické vybavení tunelu.

V severním tunelu se podařilo dosáhnout optimalizace počtu typů bloků betonáže na:

- standardní blok;

- blok s výklenkem kabiny SOS a požárního hydrantu;
- blok s výklenkem kabiny SOS a ústím tunelové propojky;
- blok s výklenky šachet na čištění boční tunelové drenáže;
- blok v profilu nouzového zálivu;
- blok v profilu nouzového zálivu se zaústěním propojky;
- bloky atypických délek < 12 m.

Unifikace bloků betonáže usnadnila provádění a snížila počet typů bednění výklenků, které se nasazuje na bednicí vůz a vyžaduje jeho zvláštní úpravu.

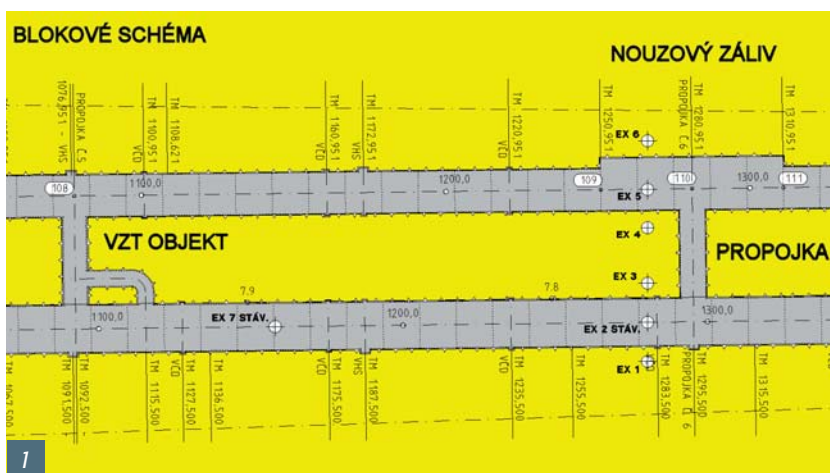
Natáčení profilu tunelu podle příčného klopení vozovky

Optimalizace technického řešení bylo možné dosáhnout speciálním opatřením, které je v České republice používáno jen zřídka. Jedná se o příčné natáčení profilu tunelu v závislosti na příčném klopení vozovky.

Z hlediska směrového řešení se trasa komunikace v tunelovém úseku nachází v protisměrných obloucích a vozovka o standardním jednostranném příčném sklonu 2,5 % se v trase tunelu překlápí. To sebou přináší řadu komplikací, které je nutno řešit. Jedná se zejména o:

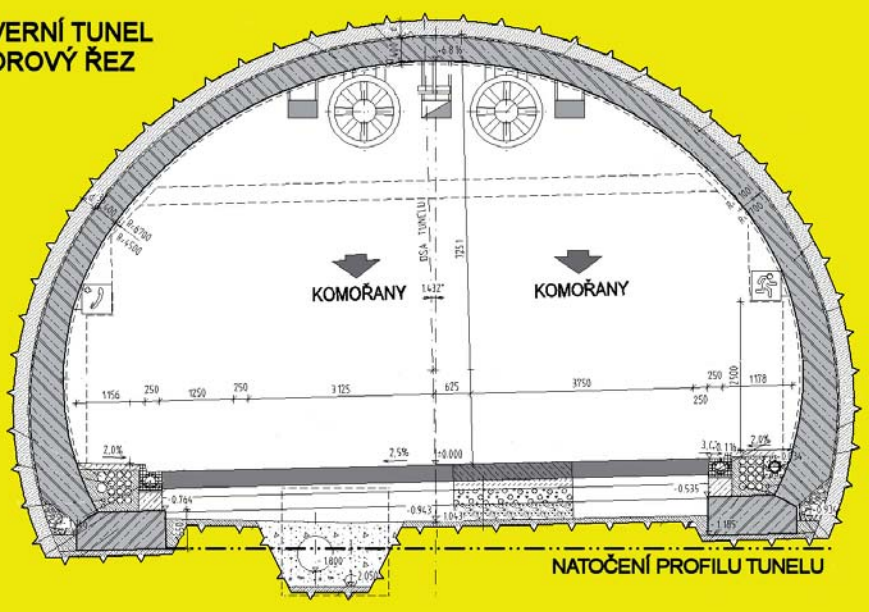
- odvodnění vozovky;
- využitelnost prostoru pod chodníky pro vedení inženýrských sítí;
- proměnnou šířku chodníku;
- proměnnou výšku upevnění bednění výklenků na bednicím voze.

Zadávací dokumentace obsahovala pouze osu komunikace, osy tunelů nebyly v dokumentaci exaktně definovány. Projektant proto v rámci zpracování realizační dokumentace provedl i podrobné trasování obou tunelů. Norma umožňuje při požadované návrhové rychlosti a vhodné



Obr. 1 Blokové schéma tunelu
Fig. 1 Block diagram of the tunnel

SEVERNÍ TUNEL
VZOROVÝ ŘEZ



2



3

volbě směrového oblouku vozovky i v případě protisměrných oblouků nepřeklápět, což eliminuje výše uvedené nevýhody. Návrh projektanta však nebyl ze strany autorského dozoru akceptován. Po dohodě se zhotovitelem a investorem navrhl proto projektant RDS technické řešení využívající příčné překlápění profilu tunelu podle příčného sklonu vozovky (obr. 2), které je náročnější na projekční práce a vytyčování na stavbě, z hlediska provádění však přináší celou řadu nesporných výhod. Kromě problému s odvodněním vozovky řeší všechny další výše uvedené komplikace.

Při překlápění profilu tunelu je plocha banketu pod chodníky v celé délce tunelu stejná, což umožňuje plné využití prostoru na umístění kabelovodů a potrubí požárního vodovodu. To se ukázalo jako zásadní při dodatečném prosazování umístění

potrubí požárního vodovodu pod chodníkem, jak je běžné u zahraničních tunelů. I přes odpor ze strany autorského dozoru se nakonec podařilo požární potrubí pod chodníkem umístit a vyloučit tak riziko nutnosti uzavření tunelu v případě poškození potrubí, jak tomu bylo u dálničního tunelu Panenská.

Překlápěním profilu tunelu podle průřezu osy tunelu s úrovní vozovky se šířka chodníků po délce tunelu prakticky nemění, což má mimo jiného i pozitivní dopad na umístění obrubníků, šterbinových žlabů a samozhášecích kusů na odvodnění vozovky. Konstantní zůstává i poměr desek spárofezu chodníku.

Pro bednění definitivního ostění tunelů se používá bednicí vůz. Jedná se o sofistikované zařízení osazené čerpadly betonové směsí, příložnými vibrátory, otvory pro ukládání betonu, hydraulikou pro

odbednění i ustavení formy a vlastním pojezdem. V případě bednění výklenků a krčků propojek je nutné na ocelový plášť bednicího vozu připevnit speciální nástavec. Při překlápění profilu tunelu podle sklonu vozovky lze nástavec umístit vždy do stejného místa, což eliminuje vznik chyb při osazení bednění a je šetrnější k plášti bednicího vozu. Speciálním nástavcem byla bedněna i nika pro umístění nouzového osvětlení, jejíž poloha je vázána na úroveň chodníku. Příčným překlápěním se sice výrazně omezí šířkové disproporce chodníku, nelze však úplně zajistit konstantní výšku průřezu roviny chodníku s ostěním tunelu, neboť při příčném naklápění se rovina chodníku překlápí podle jiného bodu do sklonu 2 % směrem k vozovce. Následkem toho dochází k chybě v umístění niky nouzového osvětlení v řádu centimetrů, která je pro investora nepřijatelná, a niky musely být následně převrtány. Pro další tunely lze proto doporučit vrtání nik pro nouzové osvětlení až po betonáži chodníku a speciální nástavec do bednění neosazovat.

Překlápěním profilu došlo ke snížení hloubky šachet na čištění boční tunelové drenáže. Díky pozitivnímu přístupu zástupce investora byl původně požadovaný profil šachty 800 mm zmenšen při snížené hloubce šachty na 600 mm, což vedlo ke zmenšení výklenku na čištění drenáže, sjednocení jeho tvaru s výklenkem požárního hydrantu, a tím ke snížení počtu typů bloků betonáže. Navržená úprava se pozitivně projevila i v konstrukci hloubených tunelů, kde podle původního řešení zadní strana výklenku čištění drenáže vyčnívala z konstrukce ostění, po úpravě v rámci RDS se celý výklenek zasnul do ostění. To je příznivější jak z hlediska statického působení a případného vzniku trhlin, tak z hlediska provádění, protože bednění rubu ostění nemusí být v místě výklenku upraveno.

Podle normy je délka vzestupnice, na kterou se provádí překlopení vozovky, závislá na podélném i příčném sklonu komunikace. Výpočet délky vzestupnice vychází z požadavku, aby se v případě deště nedržela voda na povrchu vozovky a nebyla ohrožena bezpečnost provozu. Pro konkrétní případ sklonových poměrů severního tunelu vycházela délka vzestupnice kolem 70 m. Jak již bylo uvedeno, betonáž tunelu probíhá po blocích délky 12 m a osu tunelu tvoří polygon. Stejně tak nelze klopení profilu tune-

lu provádět plynule, ale ve skocích odpovídajících délce bloku betonáže. Převýšení, které je nutno překlopením překonat, závisí na šířce komunikace mezi obrubníky. Aby byl skok ve spáře mezi bloky betonáže co nejmenší, provádí se v tunelu překlopení nikoli na délku v zestupnice vypočtenou podle normy, ale na délku přechodnice. K překlopení vozovky dochází hluboko v tunelu, kde nehrozí, že by na povrchu vozovky mohla stát voda, neboť jediný případ, kdy může proudit na povrchu vozovky voda, nastává při mytí tunelu, které se provádí při přerušení provozu.

Úprava detailu v místě patky ostění a ukončení izolace

Vodonepropustnost ostění zajišťuje hydroizolační fólie umístěná mezi primárním a definitivním ostěním. U tunelů SOKP 513 je použit deštníkový systém izolace s příčným svedením podzemní vody k podélným tunelovým drenážím a dále do prostoru komořanského portálu. Snahou projektanta bylo umístit boční drenáže co nejnižší k úrovni základové spáry patky definitivního ostění a zároveň co nejdále od spáry mezi horní klenbou a patkou ostění. Použití standardního a v zahraničí úspěšně používaného detailu umožnilo odstranit obtížně kontrolovatelné vodorovné svary a zejména T-svary. Pro boční tunelovou drenáž bylo použito drenážní potrubí podkovkovitého tvaru od firmy Rehau, které je určeno pro použití v tunelech. Potrubí bylo osazeno až po úroveň příčných drenážních spár na trubkách do spádového betonu vytvarovaného do příčného sklonu směrem k potrubí (obr. 3). Použití mezerovitého betonu jako obsypu drenážního potrubí umožnilo vytvořit mezi patkou a mezerovitým betonem spáru, do které se následně zatáhla hydroizolační fólie. Před betonáží definitivního ostění se spára zalila betonem kašovitě konzistence, čímž byla fólie zafixována a utěsněna ve spáře (obr. 4).

PROVÁDĚNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ RAŽENÝCH TUNELŮ

Betonáž patek ostění a přípravné práce betonáže klenby

Před popisem provádění definitivního ostění ražených částí tunelu je nutno zmínit, jaké práce s prováděním definitivního ostění bezprostředně souvisí.

S kvalitou spáry patky definitivního ostění souvisí způsob rozpojování horninové-

Obr. 2 Natáčený příčný řez severního tunelu

Fig. 2 Northern tunnel tube – a rotated cross section

Obr. 3 Vytvoření spáry pro ukončení hydroizolační fólie

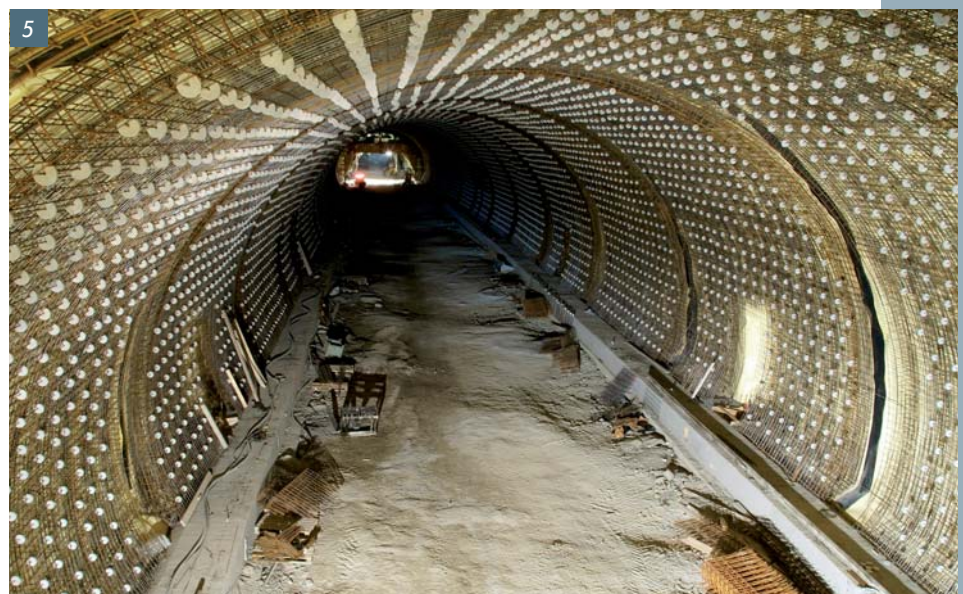
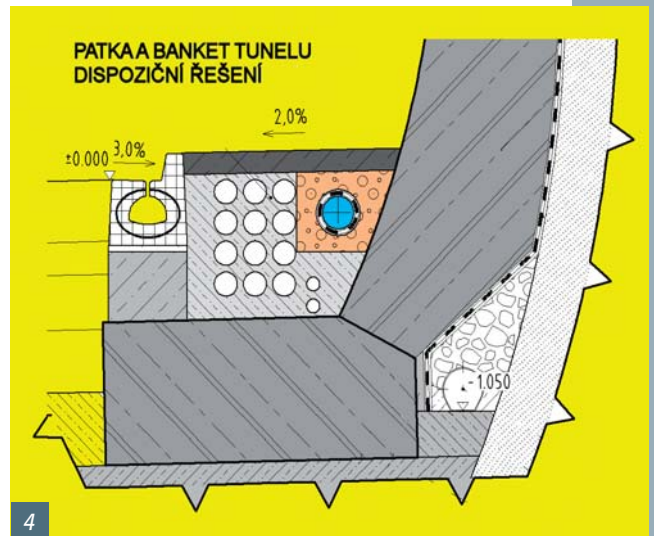
Fig. 3 Creation of a groove for the waterproofing membrane stop end

Obr. 4 Detail patky s ukončením hydroizolace

Fig. 4 Detail of the footing and the waterproofing membrane stop end

Obr. 5 Samonosná výztuž horní klenby

Fig. 5 Self-supporting reinforcement of the upper vault



ho masivu během ražby. V celé trase raženého tunelu se nacházela hornina, jejíž rozpojování si vyžádalo nasazení trhacích prací. Proto docházelo k lokálnímu přebrání počvy tunelu a vzniklý prostor musel být vyplněn pod patkou výplňovým betonem ukládaným na očištěnou spáru.

Pro výztuž patek ostění bylo původně uvažováno s použitím armokošů. Vzhledem k potížím zejména s jejich výrobou a dopravou byl původní záměr nahrazen klasickým armováním in situ, které se ukázalo být výhodnějším jak ekonomicky, tak i rychlostí postupů.

V portálových blocích na rozhraní hloubené a ražené části tunelu byl použit profil se spodní klenbou, v ostatních úsecích spočívala horní klenba na patkách. Oproti zadání tak došlo díky příznivým geotechnickým poměrům ke změně, neboť zadání předpokládalo nasazení profilu se spodní klen-

bou v delším úseku tunelu. Po betonáži patek ostění následovala pokládka drenážního potrubí a tvarování mezerovitého betonu obsypu drenáže. Spára pro zatažení hydroizolační fólie vznikla vyklínováním prkna umístěného mezi patku ostění a mezerovitý beton. Na patky ostění byly položeny a pevně zafixovány kolejnice pro pojezd profilovacího vozu, vozu pro instalaci hydroizolační fólie, vozu pro montáž samonosné výztuže a pro pojezd bedněcího vozu. Zejména při pojezdu bedněcího vozu je nutné zabránit vodorovnému posunu kolejnice při zatížení pláště bednění betonovou směsí. Profilovací vůz slouží k případné úpravě primárního ostění po profilování, pokud primární ostění zasahuje do prostoru definitivního ostění. Jako podklad pro hydroizolační fólii slouží nástřik betonu jemné frakce a geotextilie 500 g/m². Hydroizolační PE fólie SIKA-



6



7

PLAN WT 2200 tloušťky 2,5 mm se signální vrstvou mohla být podle požadavku investora instalována s maximálním předstihem 50 m před betonáží ostění. Omezení délky úseku prováděného v předstihu snižuje riziko poškození fólie a zvyšuje bezpečnost práce v případě, že by v tunelu došlo k požáru.

Výztuž a betonáž horní klenby

Geotechnické poměry zjištěné během výstavby nasvědčovaly tomu, že se v okolí výrubu nachází velmi kvalitní horninový masiv. Při ploše výrubu 107 m² se deformace primárního ostění pohybovaly v řádu milimetrů, pouze v příporťalových úsecích se na cholupické straně

dostaly až k hranici 30 mm. I tato hodnota však při velikosti výrubu svědčí o příznivých geotechnických poměrech.

V první fázi proto projektant provedl výpočet ve snaze prokázat dostatečnou únosnost ostění bez použití výztuže. Výhodou ostění z prostého betonu je minimalizace rizika poškození hydroizolační fólie a zmírnění požadavků na vznik trhlin. Díky nepříznivému tvaru příčného řezu tunelu se však nepodařilo dostatečnou únosnost ostění prokázat a ostění bylo navrženo ze železobetonu.

Pro výpočet použil projektant speciální postup s využitím plastického chování železobetonového průřezu a úpravou tuhosti ostění v místě vzniku trhlin.

Tím došlo k optimálnímu využití průřezu a minimalizaci výztuže. Ukazatel vyztužení průřezu klesl ze 167 kg/m³ uvažovaných v zadání na 72 kg/m³.

Nosnou výztuž montovanou pouze ze sítí KARI Q513 podpíraly speciálně připravené armokoše stykované pomocí lanových spojek. Navržený způsob stykování armokošů zajišťuje flexibilitu spoje a oproti použití tuhých šroubovaných spojů a styčnickových plechů snižuje riziko poškození izolace při osazování bednicího vozu, kdy může dojít k dotlačení výztuže. Samonosnost výztuže dělala problémy v místě prostupů do tunelových propojek. I když realizační dokumentace v tomto případě nahrazovala stykování nosných rámu šroubovanými spoji a nad prostupem byl vytvořen z výztuže prostorový rám, docházelo k deformaci výztuže a zhotovitel použil k jejímu uchycení do horninového masivu speciální prvky k tomu určené, neboť bylo nutné projít přes hydroizolační fólii.

Montáž výztuže jednoho bloku betonáže trvala zpočátku podle typu bloku betonáže a složitosti čtyři až pět dní. Po zacvičení osádky byla zkrácena na dva až tři dny v nepřetržitém provozu. Vyztužování probíhalo v předstihu před betoná-

ží (obr. 5). Doba betonáže se pohybovala od 7 do 12 h a odbednění probíhalo v závislosti na teplotě prostředí v tunelu do 11 až 15 h po ukončení betonáže.

Pro ostění byl použit beton C30/37 XF4 XD3. V době odbednění dosahovala pevnost betonu 10 až 15 MPa, což zaručuje samonosnost ostění zatíženého pouze vlastní vahou a teplotou, neboť zatížení horninovým tlakem v té době plně přenáší primární ostění a zatížení hydrostatickým tlakem vylučuje navržený deštníkový systém hydroizolace. Výsledky geotechnického monitoringu ukazovaly, že deformace primárního ostění se ve všech měřených profilech před zahájením betonáže ustálily.

Porovnání předpokladů ZDS a výsledků dosažených v RDS ukazuje tabulka 1. V případě spotřeby betonu se však jedná pouze o teoretické hodnoty. K navýšení objemu betonu horní klenby v RDS o 1 746 m³ došlo vlivem dodatečného rozšíření tunelu a zvětšení jeho příčného řezu.

Reálně použité množství betonu se od realizační dokumentace rovněž lišilo, neboť kromě teoretického objemu betonu ostění bylo nutné betonem vyplnit i objem geotechnických a technologicky podmíněných nadvýrubů a objem nadvýšení primárního ostění tunelu z důvo-

du stavebních tolerancí a pro deformace primárního ostění, které byly zpravidla menší, než se předpokládalo.

Vlastní postup při realizaci

Vzhledem k tomu, že ze strany investora vznikl požadavek na urychlení výstavby a zkrácení termínu uvedení stavby do provozu, rozhodl se zhotovitel nasadit na betonáž raženého úseku severního tunelu i navazujícího hloubeného tunelu na portálu Cholupice dvě kompletní sestavy. Každá z nich se skládala z izolátorského vozu (výrobek Renesco), armovacího vozu (výrobek CIFA) a bednicí formy (výrobek CIFA).

První sestava byla nasazena přibližně v polovině raženého úseku tunelu. Pomocí této sestavy byl vybetonován úsek od bloku S 89 do S 8 (poslední blok raženého úseku tunelu) a dále pokračovala navazujícím hloubeným tunelem od bloku S 7 do S 1. Celkem bylo touto sestavou vybetonováno 993,1 m tunelu s průměrným postupem 5,24 m/den. V hloubeném úseku bylo navíc použito kontrabednění rubu ostění (obr. 6). Vzhledem k tomu, že bednicí forma CIFA z této sestavy nebyla uzpůsobena pro snadnou přestavbu na profil nouzového zálivu, byl záliv při betonáži vynechán. Na závěr se provedla betonáž portálového bloku, kde

bylo z důvodu jeho komplikovaného tvaru jako doplňkové navíc použito bednění speciálně vyvinuté pro tento účel firmou Nestservis.

Druhá sestava byla nasazena od komořanského raženého portálu. Původně sloužila firmě Skanska BS pro betonáž třípruhového hloubeného tunelu ve stavební jámě Komořany a před nasazením měla být uzpůsobena tvaru severního dvoupruhového tunelu. Sestava měla s první sestavou identické složení, s výjimkou armovacího vozu (výrobce Ostu Stettin), který pocházel původně ze stavby Tunelu Klímkovice a pro nasazení na stavbě 513 musel být patřičně uzpůsoben. Pomocí této sestavy bylo provedeno definitivní ostění až do bloku S 89 (začátek úseku první sestavy) opět s vynecháním zálivu.

Následně celá sestava couvla zpět k nouzovému zálivu blíže portálu Komořany, kde došlo k náročné přestavbě bednění na zálivový profil (obr. 7). Ačkoli výrobce předpokládal pro přestavbu a přemístění formy do zálivu 40 dní, zhotoviteli se podařilo celou operaci zvládnout za 17 dní.

Po betonáži prvního zálivu bylo nutno formu opět přestrojít do typického profilu tunelu, přemístit do druhého nouzového zálivu a celý postup opakovat. Díky více než dvojnásobné transportní vzdálenos-

Obr. 6 Bednění hloubených tunelů Cholupice

Fig. 6 Formwork for the Cholupice cut-and-cover tunnels

Obr. 7 Bednicí vůz v nouzovém zálivu

Fig. 7 Tunnel form traveller at the lay-by

Obr. 8 Meniskus ve vrcholu klenby

Fig. 8 A meniscus at the top of the arch

Obr. 9 Graf závislosti objemu injektáže na výšce vrchlíku

Fig. 9 Grout injection volume plotted against the top of the arch height

Tab. 1 Hlavní rozměry definitivního ostění severního tunelu

Tab. 1 Hlavní rozměry definitivního ostění severního tunelu

	Položka	DZS	RDS	DZS-RDS
SO 602	Beton horní klenby [m ³]	16 448	18 194	-1 746
	Beton patek a spodní klenby [m ³]	3 770	3 555	215
	Výztuž horní klenby [t]	2 739	1 303	1 436
	Ukazatel – výztuž klenby [kg/ m ³]	167	72	95
	Výztuž patek a spodní klenby [t]	578	187	391
	Ukazatel – výztuž patek [kg/ m ³]	153	53	100





10



11



12



13

ti se tentokrát proces protáhl na 21 dní. I tak se jednalo o velmi dobrý výkon, který urychlil celkovou dobu betonáže tunelu.

Na závěr byla forma přemístěna na chlopický portál, kde byla stejně jako první forma rovněž demontována. Celkem sestava vybetonovala 757,59 m definitivního ostění, z toho 120 m v nouzovém zálivu s průměrným postupem 6,1 m/den – nepočítáme-li dobu přestavby formy. Veškeré betonáže na raženém i hloubeném úseku tunelu realizovaném firmou Subterra byly zahájeny 14. října 2008 a ukončeny 5. července 2009.

Doinjektování vrchlíku klenby

Při betonáži definitivního ostění tvoří rubové bednění primární ostění. I když betonáž postupuje zpravidla dovrchně, konzistence betonové směsi neumožňuje úplné vyplnění bloku betonáže a ve vrcholu klenby vznikají po ztuhnutí a dosednutí směsi nevyplněné menisky (obr. 8). Nejedná se o technologickou nekázeň zhotovitele, ale o známý a v literatuře popsáný jev.

Ve vrcholu klenby jsou proto při betonáži osazovány chráničky, které slouží pro dodatečné doinjektování vzniklých menisků. Při délce bloku betonáže 12 m se počet otvorů pohybuje od čtyř do osmi. Doinjektování vrchlíku klenby je prováděno s odstupem cca dvou měsíců a tlak injektážní směsi nesmí překročit 3 bary. Práce postupují dovrchně a pokud začne

injektážní směs vytékat z výše položeného otvoru, je injektáž přerušena, injektážní otvor zaslepen a práce pokračují na výše položeném otvoru. Postupně je prostor vrchlíku kontinuálně vyplněn. Pokud by k tomu nedošlo, byl by oslaben průřez ve vrcholu klenby, a vlivem horninového tlaku by mohlo dojít k dotlačení izolační fólie na obnaženou výztuž a k jejímu porušení. Sanace protržené hydroizolační fólie je velmi obtížná, neboť k průsakům vody ostěním nedochází zpravidla v místě porušené fólie, ale v místě oslabeného betonu ostění.

Množství injektážní směsi závisí na tvaru tunelu a při očekávané výšce menisku 100 až 150 mm se pohybuje od 300 do 500 m³ na celou délku raženého úseku tunelu. Za předpokladu vodorovného rozlití betonové směsi a při zanedbání sklonu tunelu ukazuje závislost množství injektážní směsi na výšce menisku graf na obr. 9. Výpočet je proveden pro celý ražený úsek severního dvoupruhového tunelu.

Problém zaplnění bočních drenáží injektážní směsí

S problematikou doinjektování menisku ve vrcholu klenby zřejmě úzce souvisí závažný problém, který se při výstavbě objevil při kontrole průchodnosti bočních tunelových drenáží.

V obou tunelových trubkách kamerové zkoušky lokálně zjistily buď částečnou

Obr. 10 Drenážní potrubí částečně vyplněné injektážní směsí

Fig. 10 Drainage pipe partially filled with grout

Obr. 11 Vysokotlaké čištění zainjektovaných drenáží

Fig. 11 High-pressure clearing of drains filled with grout

Obr. 12 Mírně poškozený povrch drenáže po vysokotlakém čištění

Fig. 12 Slightly damaged surface of drains after high-pressure clearing

Obr. 13 Výztuž krčku tunelové propojky VZT objektu

Fig. 13 Reinforcement of the collar of the cross passage between the tunnel and the ventilation structure

Obr. 14 Původně navrhovaný VZT rozplet

Fig. 14 Original design for the ventilation junction

Obr. 15 3D model zjednodušeného podzemního rozpletu

Fig. 15 3D model of the simplified underground junction

nebo úplnou neprůchodnost drenážního potrubí vlivem zatečení injektážní směsi do potrubí (obr. 10). Situace se opakovala na několika úsecích tunelu. Způsob, jakým k zainjektování drenáží došlo, nebyl dosud objasněn. Aby injektážní směs zatekla do drenáže, musela by proniknout mezi izolační fólií a rubem definitivního ostění až k patce tunelu, prorazit zálivku, kterou je izolační fólie zafixována mezi mezerovitým betonem a patkou ostění, následně prorazit spádový beton, do kterého je drenážní trubka osazena a přes mezerovitý beton protéct do drenáží. I když se tato varianta jeví jako méně pravděpodobná, skutečnou příčinu se zatím nepodařilo zjistit. V každém případě se jedná o skutečnost, která je z hlediska provádění velmi nepříjemná, neboť čištění zainjektovaných

drenáží by proto bylo přínosem pro další projektování a zejména realizaci tunelů u nás.

Bednění krčků propojek

Krčkem propojky se nazývá většinou kolmý přechod definitivního ostění v místě průniku dvou tunelových trub. Jedná se o průnik tunelových nouzových propojek s hlavními tunelovými troubami (obr. 13).

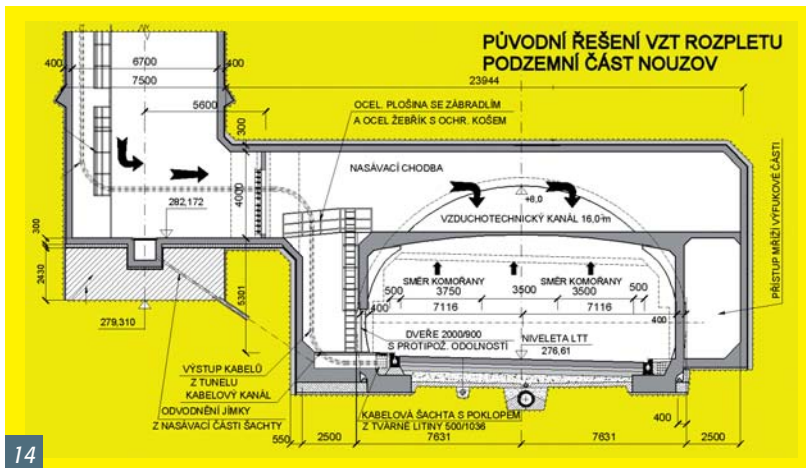
Tvar krčku je vymezen ocelovou formou připevňovanou na tunelový bednicí vůz. Zpravidla se jedná o jeden ocelový komponent opakovaně používaný podle počtu tunelových propojek. Většina silničních tunelů má profil horní klenby složený ze dvou i více poloměrů. Tzn. že jakákoli změna výšky či směru napojení znamená rozdílný tvar tunelového zárodku.

nejnižší hmotnosti z důvodu rychlosti montáže. Tvar lamel byl optimalizován ve vztahu k hodnotám rozvinutých tvarů všech šestnácti tunelových propojek. Maximální odchylka od ideální průnikové křivky byla 12 mm. Výsledkem byla forma teoreticky splňující veškeré kladebné požadavky. Praktické nasazení prokázalo vhodnost daného řešení po stránce technické, prováděcí i ekonomické. Dané řešení znamenalo úsporu nákladů na nákup patnácti bednicích forem.

VZDUCHOTECHNICKÝ OBJEKT NOUZOV

Původní návrh

Součástí zadávací dokumentace tunelů SOKP 513 byl i požadavek na výstav-



14



15

drenáží je obtížné, zdlouhavé a finančně nesmírně náročné (obr. 11).

Zatvrdlá injektážní směs byla rozrušována vysokotlakým vodním paprskem, kdy tlak na trysce dosahoval 180 atmosfér. Limitujícím faktorem byl požadavek na nepoškození drenážního potrubí. Rychlost postupu při čištění lze jen těžko specifikovat, protože závisí na stupni zanesení potrubí. V našem případě se pohybovala v rozmezí 0,5 až 20 m/h (obr. 12).

Protože se při realizaci nepodařilo objasnit příčinu zatékání injektážní směsi do drenážního potrubí, byl po zjištění tohoto problému neprodleně zahájen nepřetržitý monitoring a zároveň byl do drenážního potrubí pouštěn proud vody, aby se případné průniky injektáže okamžitě vypláchly a nedocházelo k zatvrdnutí směsi.

Obdobný jev byl v menším měřítku zjištěn při kamerových zkouškách i na již provozovaných tunelech Panenská a Liboucheč. Objasnění příčiny zainjektování

Ražené tunely SOKP 513 mají nejen rozdílnou velikost průjezdného profilu (severní tunel je dvoupruhový, jižní třípruhový) ale navíc se příčně celý profil naklápí do oblouků navržené trasy tunelu. Řešení je technicky výhodné z hlediska budování tunelu a jeho vstrojení, avšak každý tunelový zárodek je jiného tvaru a vyžaduje použití vždy nové formy. Mezi oběma tunely se nachází osm tunelových propojek, a tedy šestnáct různých zárodků.

Standardním řešením by byla výroba šestnácti tunelových zárodků, každý pro jedno nasazení. Dodavatel bednění krčků propojek firma Nestservice, s. r. o., navrhla konstrukční řešení ve formě univerzální formy zárodku pokrývající všech šestnáct přechodových tvarů. Byla navržena a vyrobena ocelová forma tvořená pláštěm ze vzájemně posuvných ocelových lamel na příhradové konstrukci. Bednění musí splňovat přísné nároky na tuhost a pevnost konstrukce při zachování co

bu vzduchotechnického objektu Nouzov, který při vysokých dopravních zátěžích zajišťuje, aby koncentrace škodlivin při provozu nepřekračovaly hygienickými předpisy povolené meze.

Objekt se skládá z nadzemní části, kde je umístěna strojovna vzduchotechniky, technologické zázemí a výdechový komín, vzduchotechnické šachty a podzemního vzduchotechnického rozpletu napojeného na oba hlavní tunely. Součástí podzemního rozpletu byla v úrovni ZDS kromě poměrně složitěho systému chodeb a kanálů i úprava konstrukce ostění obou tunelů v místě napojení na vzduchotechnický objekt. Profil tunelu byl oproti standardnímu tvaru nadvýšen, na bocích tunelu byly navrženy sestupné šachty se žaluziemi pro odsávání znečištěného vzduchu (obr. 14). Čerstvý vzduch byl přiváděn do prostoru nad mezistropem třípruhového tunelu a vyfukován do tunelu v dostatečné vzdálenos-



16



17



18

Obr. 16 Betonáž mezistropu
vzduchotechnického rozpletu

Fig. 16 Casting of the intermediate deck for
the ventilation junction

Obr. 17 Napojení obchozí VZT štolý
na větrací šachtu a propojku

Fig. 17 Connection of the by-pass ventilation
adit to the ventilation shaft and the
cross passage

Obr. 18 Lezné oddělení ve výdechové části
šachty

Fig. 18 A manway compartment in the
exhaust part of the shaft

ti od nasávacích žaluzií, aby nedocházelo k jeho opětovnému nasávání.

Navržené technické řešení nebylo optimální z několika důvodů:

- degradace horninového masivu při použití trhacích prací v místě rozpletu;
- náročná údržba a zvýšené riziko vzniku chyb při realizaci;
- použití speciálního typu bednění na velmi krátkém úseku tunelu;
- zmenšení světelné plochy tunelu v místě mezistropu o 25 %.

Projektant RDS po dohodě se zástupci zhotovitele i investora přistoupil k optimalizaci technického řešení.

Optimalizace technického řešení

Ve spolupráci s projektantem vzduchotechniky tunelu byly prověřeny nutné plochy nasávacích a výfukových kanálů. Prioritou bylo zejména odstranění atypických konstrukcí v hlavních tunelech, neboť ty představovaly zásadní problém při splnění požadavku investora na zkrácení termínu uvedení stavby do provozu. Konstrukce mezistropů, zajišťujících přívod čerstvého vzduchu do stoupacího třípruhového tunelu, byla nahrazena obchozí vzduchotechnickou štolou napojenou přímo na vzdu-

chotechnickou šachtu. Vyústění štolý do třípruhového tunelu bylo navrženo v takové vzdálenosti, aby čerstvý vzduch přiváděný štolou nebyl nasáván se znečištěným vzduchem do výfukové části objektu (obr. 15). Do prostoru vzduchotechnického rozpletu byla posunuta tunelová propojka č. 5, standardně navržena pro únik osob v případě nehody v tunelu. Přidáním mezistropu do propojky vznikl nad ním prostor pro odsávání znečištěného vzduchu z obou tunelů. Prostor pod mezistropem byl využit pro únik osob a pro umístění technologického vybavení tunelu. Vzhledem k tomu, že šachta ústí přímo do tunelové propojky, navrhl projektant na rozdíl od ostatních propojek v místě průniku šachty v propojce spodní klenbu, která lépe přenáší zatížení do podloží. Dalším opatřením k omezení přenosu zatížení ze vzduchotechnické šachty do ostění propojky bylo zazubení ostění šachty tvořené vyztuženým límcem výšky 1,4 m situovaným nad zaústěním obchozí štolý do vzduchotechnické šachty.

Novým návrhem technického řešení vzduchotechnického rozpletu došlo k výraznému zjednodušení díla. Původní podzemní komplex byl redukován

na vzduchotechnickou šachtu a obchozí vzduchotechnickou štolu. Podzemní objekt byl sdružen s tunelovou propojkou, čímž došlo ke snížení pracnosti, i když ostění propojky doznalo změn vytvořením mezistropu (obr. 16) a v oblasti průniku se vzduchotechnickou šachtou. Tvar tunelů a propojky i dimenze ostění zůstaly zachovány. Nadzemní část objektu zůstala po stavební stránce bez výraznějších změn.

Zhotovitel tunelů mohl při výstavbě postupovat stejným technologickým postupem, pouze v místě napojení obchozí vzduchotechnické štolý na třípruhový tunel bylo nutné zajistit bednění průniku obou děl. Napojení propojky č. 5 bylo standardní jako v případě ostatních průniků tunelů s propojkami, pouze osa propojky byla posunuta o 1 m od osy bloků v tunelu tak, aby procházela pod vrtem sloužícím pro odvětrávání průzkumné štolý.

Výstavba podzemního vzduchotechnického rozpletu

Realizace vzduchotechnického objektu byla zahájena hloubením šachty, průměru 7,9 m a hloubky 43 m, z povrchu



území se zajištěním stability výrubu primárním ostěním ze stříkaného betonu tloušťky 200 mm se sítěmi KARI a výztužnými ocelovými rámy. Hornina byla odtěžována do tunelu vrtem Ø 800 mm. Horninový masiv byl po obvodě prokottven krátkými kotvami délky 2 m. Po vyhloubení šachty a vyražení tunelové propojky č. 5 mohla začít instalace mezilehlé fóliové izolace tloušťky 2,5 mm se signální vrstvou a betonáž definitivního ostění propojky.

Jedním z nejnáročnějších úseků stavby v popisované části byla realizace průniku propojky, obchozí vzduchotechnické štolý a vzduchotechnické šachty, a to po všech stránkách: izolačních prací, montáže armatury, sestavení bednění z komponentů PERI a v neposlední řadě i vlastní betonáže (obr. 17). Po vybetonování ostění v místě průniku již probíhala betonáž definitivního ostění šachty po blocích délky 4 m a tloušťky 300 mm do posuvného bednění PERI posunovaného jeřábem umístěným nad ohlubení šachty.

Výztuž definitivního ostění byla upravena tak, aby na vylamovací trny mohla být stykována výztuž dělicí stěny, která byla betonována s odstupem za betonáž ostění šachty a při provozu bude oddělovat nasávací a výfukovou část vzduchotechnického objektu (obr. 18). Standardní výztuž definitivního ostění tvořily sítě KARI kladené na oba povrchy ostění, pouze v místě průniků šachty s propojkou a obchozí štolou byla použita prutová výztuž.

Z hlediska stavby byla náročným úkolem i příprava bednění obchozí vzduchotechnické štolý. Trasa podkovovitého profilu štolý ležela ve směrovém i výškovém oblouku, což kladlo zvýšené nároky na výrobu i montáž bednění.

ZÁVĚR

V době publikování článku již byly betonáže ostění ukončeny, a lze rekapitulovat. V průběhu realizace musel projektant i zhotovitel řešit celou řadu neočekávaných situací. Návrhy na provádění změn během výstavby padaly od investora, zhotovitele i projektanta. Reakce partnerů ve výstavbě na navrhované změny nebyly zpočátku vždy pozitivní a k prosazení nového technického řešení bylo nutné najít pádné argumenty.

Díky pozitivnímu přístupu všech účastníků výstavby se téměř vždy podařilo dospět ke konsenzu, který vedl ke zjed-

Literatura:

- [1] Ředitelství silnic a dálnic ČR.: SOKP Stavba 513 Vestec–Lahovice, Tunel Komořany, ZDS
- [2] Pragoprojekt, a. s.: SOKP 513, Změna DSP 06/2007
- [3] IKP Consulting Engineers: RDS SO 602 Ražený tunel dvoupruhový
- [4] IKP Consulting Engineers: RDS SO 609 Výdechový a nasávací objekt Nouzov
- [5] IKP Consulting Engineers: RDS SO 607 Hlubený tunel dvoupruhový

nodušení provádění a následné údržby i ke snížení rizika vzniku chyb při realizaci díla. Zkušenosti z již provozovaných tunelů i požadavky tunelářské normy hovoří o minimální životnosti tunelu 100 let. I když optimalizace technického řešení v průběhu výstavby naráží na časové i legislativní problémy, určitě stojí za to se, vzhledem k předpokládané životnosti díla, vylepšováním technického řešení zabývat i v této etapě „života“ tunelu.

Název projektu	Silniční okruh kolem Prahy, stavba 513 Vestec – Lahovice
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Zhotovitel	Sdružení Vestec – Lahovice Skanska DS, a. s., Skanska BS, a. s., Alpine Mayreder, a. s.
Podzhotovitel	Subterra, a. s.
Hlavní inženýr projektu (HIP)	Ing. Libor Mařík, IKP Consulting Engineers, s. r. o.
Realizace	2006 až 2010

Ing. Radan Bohman

Subterra, a. s.

Elišky Přemyslovny 380, 156 00 Praha 5

tel.: 602 645 612, fax: 283 850 995

e-mail: rbohman@subterra.cz

www.subterra.cz

Ing. Libor Mařík

IKP Consulting Engineers, s. r. o.

Jirská 5, 186 00 Praha 8

tel.: 605 707 767, fax: 255 733 622

e-mail: libor.marik@ikpce.com

www.ikpce.com

Ing. Pavel Stibal

Nestservice, s. r. o.

Košinova 13, 612 00 Brno

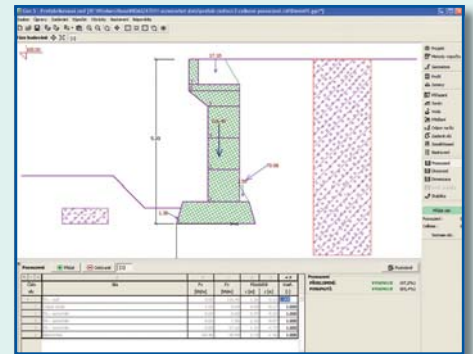
tel.: 602 447 809, fax: 543 236 686

e-mail: stibal@nestservice.cz

www.nestservice.cz

geotechnical software suite

GEO5 verze 10

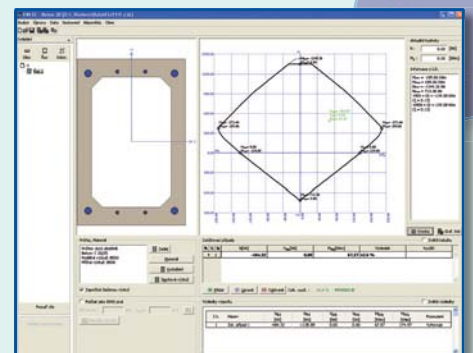


EN 1990, EN 1997, EN 1998

- výpočty zdí, pažení, základů a stability svahu podle aktuálních Eurokódů
- automatické stanovení nejneprůzračnějších součinitelů
- výpočet podle všech tří návrhových přístupů
- uvažování kombinací ve smyslu normy pro zatížení
- možnost zadat součinitele podle libovolné Národní přílohy

www.fine.cz

structural engineering
FIN EC



EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1995

- dimenzování betonu, oceli, dřeva podle aktuálních Eurokódů
- automatická generace kombinací podle zatěžovacích normy
- možnost zadat součinitele podle libovolné Národní přílohy
- posouzení libovolného tvaru betonových a ocelových průřezů
- posouzení požární odolnosti
- posouzení MSÚ i MSP (mezní stav napětí) v betonech
- Beton 3D - posouzení všech vnitřních sil, včetně kroucení a šikmého smyku

fine civil engineering software

tel.: +420 233 324 889, fax: +420 233 321 754
E-mail: hotline@fine.cz