

Vnitřní vybavení tunelů SOKP 513

Na první pohled by se mohlo zdát, že betonáží definitivního ostění popisovanou v časopisu *Inžinierske stavby / Inženýrské stavby* 5/2010 skončila na stavbě tunelů SOKP 513 pro tuneláře práce a nahradí je standardní profese spojené spíše s výstavbou komunikace na povrchu. Toto tvrzení je však pravdivé jen částečně. Je pravda, že následné činnosti, jako jsou provádění kanalizace, odvodnění a příprava podkladních vrstev vozovky, vlastní vozovka nebo vedení inženýrských sítí, se uplatňují i mimo tunel. Jejich provádění ve stísněném prostoru tunelu a zpravidla hluboko pod zemí si však vyžaduje dodržování určitých specifických pravidel.

Vžitě technologické postupy uplatňované při výstavbě komunikace na povrchu je proto nutné přizpůsobit pro nasazení v podzemí. Činnosti musejí být optimalizovány s ohledem na harmonogram výstavby, členění tunelu na bloky betonáže mnohdy různého konstrukčního uspořádání, geotechnické poměry nebo jen na geometrické uspořádání prostorově omezené tunelové trouby. V dalším textu se pokusíme poukázat na některé odlišnosti zdánlivě rutinních činností od obecně používaných standardů a možné negativní dopady při jejich nerespektování během výstavby tunelu.

Odvodnění tunelu

Již naši dědové tvrdili, že největším nepřítelem tuneláře je voda. Při výstavbě tunelů SOKP 513 přítoky zpravidla nepřekračovaly 2 l/s a hydrogeologické poměry dané lokality byly k účastníkům výstavby milosrdné. Při provozování tunelu se však nemůžeme zabývat pouze přítoky podzemní vody, která prosakuje horninovým masivem do prostoru tunelu. Vzhledem k situování tunelu a sklonovým poměrům bylo nutné řešit i odvedení vody z komunikace a zářezu před cholupickým portálem a dále pak odvodnění vozovky v tunelu. Vzhledem k tomu, že tunel je mimořádně ekologická stavba, jsou jednotlivé druhy vod od sebe striktně odděleny, což při návrhu konstrukčního řešení přináší určité komplikace. V tunelu byly navrženy tyto na sobě nezávislé odvodňovací systémy:

- Tunelová kanalizace sloužící pouze pro převedení srážkové a případně podzemní vody z předportálového zářezu v oblasti výše položených Cholupic do řeky Vltavy. V trase tunelu nejsou do kanalizačního potrubí zaústěna žádná další potrubí. Pod tunelem v oblasti níže položeného komořanského portálu je do kanalizace po úpravě pH zaústěna tunelová drenáž.

- Boční a střední tunelová drenáž vedená samostatně bez napojení na tunelovou kanalizaci nebo na systém odvodnění vozovky. Důvodem oddělení drenážní vody od dešťové kanalizace je zvýšení pH podzemní vody, k němuž dochází při průsaccích přes stříkaný beton primárního ostění nebo při průtoku mezerovitým betonem, kterým je drenážní potrubí obsypáno. To má za následek změnu chemizmu vody až na hodnoty přesahující pH 12, a to zejména v prvních letech po uvedení stavby do provozu. Proto se veškerá voda z bočních i středových drenáží přivádí v oblasti portálu Komořany do dočasné úpravy pH, která je napojena na řídicí systém tunelu. To umožňuje v případě poruchy úpravny rychle zjednat nápravu. Po neutralizaci na hygienicky přípustnou mez se upravená drenážní voda vypouští do kanalizace a odvádí dále do Vltavy. Systém potrubí a šachet je navržen tak, aby po obnovení původního chemizmu vody bylo možné úpravnu pH zrušit a systém drenáží napojit přímo do kanalizace. Tím se snižují provozní náklady a zjednodušuje údržba tunelu.
- Odvodnění vozovky představuje z pohledu ochrany životního prostředí největší riziko, i když není vyšší než kdekoli na otevřené trase komunikace. Systém je proto navržen tak, aby v případě havárie v tunelu s následným únikem zdravotně závadných kapalin, v případě požáru v tunelu vyžadujícím hašení nebo při pravidelném mytí tunelu nedocházelo ke kontaminaci drenážních či kanalizačních vod. Veškerá voda z prostoru vozovky a chodníků je proto odváděna samostatným systémem do bezodtokových jímek situovaných na portále Komořany. Úroveň hladiny v jímkách opět sleduje řídicí systém tunelu, který případně hlásí nebezpečí přeplnění nádrží. Voda z těchto jímek je ná-

sledně odvážena cisternami podle druhu znečištění do takové čistírny odpadních voda, která je schopna vyčištění provést.

Od vžitých zvyklostí se odchyluje i vedení potrubí v tunelu, který je navržen v protisměrných obloucích. Z důvodu omezení počtu poklopů revizních šachet střední tunelové drenáže a kanalizace, které jsou potenciálním zdrojem vad betonové vozovky, bylo rozhodnuto použít pro střední tunelovou drenáž a tunelovou kanalizaci sdružených šachet, jejichž vzájemná vzdálenost dosahovala až 120 m. Snadný přístup k šachtám, kontrola pomocí videokamer i moderní metody čisticí tlakovou vodou tuto vzdálenost umožňují. Při přímém propojení potrubí mezi šachtami, které je běžné u vedení kanalizace v komunikaci na povrchu, by se u tunelu ležícím ve směrovém oblouku nebezpečně přiblížil výkop pro obě potrubí k základové patce ostění. Nepřesný je i pojem výkop, neboť vzhledem k hloubce vedení potrubí pod terémem se trasa kanalizace nachází ve velmi kvalitní hornině, pro jejíž rozpojení bylo v mnoha případech nutné použít trhací práce. Jak situování rýhy pro potrubí v těsné blízkosti základové patky ostění, tak provádění trhacích prací by mohlo negativně ovlivnit stabilitu patky, a tím i celého ostění tunelu. Proto bylo rozhodnuto o vedení potrubí rovnoběžně s osou tunelu, přičemž se pro dosažení potřebného zakřivení trasy potrubí využívalo možnosti natočení jednotlivých trub v hrdlech. Přípustný úhel natočení trubky v hrdle udával výrobce. Polohu kanalizace ve dně tunelu a paralelně vedené střední tunelové drenáže ukazuje *obr. 1*.

Určité kompromisní řešení vyžadovalo i výškové umístění potrubí pod úrovní vozovky. Proti sobě stála v tomto případě hloubka rýhy pro umístění potrubí a poloha stropu sdružené šachty vzhledem ke konstrukci cementobetonového krytu vozovky (CBK).



Obr. 1 Umístění kanalizace v blízkosti patky ostění



Obr. 2 Inženýrské sítě na komořanském portále

Při optimální hloubce rýhy z hlediska CBK by výrazně narostl objem výkopu a s ním spojené obtížné rozpojování skalního prostředí. Umístění stropu sružené šachty těsně pod CBK zase představuje náhlou změnu tuhosti podkladních vrstev vozovky, což se může negativně projevit jejím praskáním, případně jinými poruchami. Vzhledem ke vzdálenosti a počtu šachet bylo před zahroubením potrubí preferováno situování stropu šachet těsně pod CBK s tím, že vrstvy vozovky v oblasti šachet byly vyztuženy a na strop šachty byla instalována pružná vrstva pryže ELTEC GR 850 FS, zmírňující skokovou změnu tuhosti prostředí.

Všechna trubní i kabelová vedení bylo nutné pod vozovkou na portálech správně vykřížít, což nebylo zejména na komoňanském portále vzhledem k jejich počtu jednoduché. Při návrhu směrového i výškového vedení jednotlivých inženýrských sítí měla přednost drenáž a kanalizace, aby bylo možné zachovat potřebný spád. Složitost situace na komoňanském portále ukazují *obr. 2*.

Specifika provádění chodníků a vozovky v tunelu

V České republice je u dálničních tunelů zatím jediným materiálem krytu vozovky beton. Důvodem je obava zástupců hasičského záchranného sboru z uvolňování toxických látek v případě požáru, pokud by byl použit pro kryt vozovky například živičný povrch. Ani v případě tunelů stavby 513 tomu není jinak a vozovka je navržena z betonu C30/37 XF4. Pokládku cementobetonového krytu ukazuje *obr. 3*. Konstrukci vozovky tvoří dvouvrstvá kotvená cementobetonová deska tloušťky 270 mm, směs stmelená cementem v tloušťce 150 mm a šterkodrtí tloušťky 200 mm. Od podkladních vrstev vozovky jsou konstrukční vrstvy odděleny geotextilií 400 g/m². Podkladní vrstva vozovky je tvořena šterkem frakce 32/63 v tloušťce 200 až 350 mm, do kterého je proveden vsyp výplňovým kamenivem frakce 8/16 v množství minimálně 20 kg/m². Tunel je ražen v horninách citlivých na styk s vodou a při podélném sklonu tunelu 4 % by se mohly vlivem proudění vymývat jemné částice. Proto je v počvě tunelu navržen spádový beton v tloušťce 100 až 150 mm, který je příčně vyspádován ke střední tunelové drenáži a zabraňuje degradaci horninového masivu.

Návrh spárovezu cementobetonového krytu chodníků a zejména vozovky se řídí normovými zásadami, přičemž k hlavním omezujícím faktorům patří vzájemný poměr stran desek 1: 1,5 (šířka : délka) a tloušťka krytu vozovky. Nepsané pravidlo mluví o optimální délce hrany do 5,5 m. Projektant realizační dokumentace se však snažil navrhnout takový spárovez vozovky i chodníků, který by respektoval konstrukční rozdělení ostění tunelu na bloky betonáže délky 12 m. Jedná se opět o přímou vazbu vnitřních konstrukcí s konstrukčním uspořádáním tunelového ostění. Při délce desky vozovky 6 m, kterou norma



Obr. 3 Betonáž vozovky v místě nouzového zálivu



Obr. 5 Ruční zdrsnění povrchu vozovky

připouští jako limitní, korespondoval spárovez vozovky se spárami mezi bloky betonáže ostění. Tím bylo dosaženo na rozhraní rozdílných konstrukčních typů ostění (například klenba na patkách a se spodní klenbou) toho, že i v případě minimálních pohybů jednotlivých bloků betonáže nedochází k poruchám vozovky vlivem zatížení nerovnoměrnou deformací podloží. Pro tento přístup k návrhu spárovezu vozovky hovoří i zkušenosti s prováděním obrubníků a šterbinových žlabů. Vzhledem k použití prefabrikátů nebyla při jejich osazování striktně respektována vzájemná poloha spár mezi prefabrikáty a spár mezi bloky betonáže tunelového ostění. Tam, kde překračovala vzájemná vzdálenost spár ostění a obrubníku cca 1 m, prefabrikáty praskaly zhruba v místě spáry mezi bloky betonáže ostění, a to i v případě, kdy se pod patkou nacházela poměrně kvalitní skalní hornina. Z toho lze usoudit, že i při relativně malých vzájemných posunech mezi bloky betonáže se nedilatovaná konstrukce může značně nadržovat, což může vést až k jejímu poškození.

Podle normy ČSN 73 7507 je nutné zajistit bezbariérový přístup do únikových cest v tunelových propojkách. V oblasti snížení chodníku na úroveň vozovky se tak používají atypické přídlažbové obrubníky a šterbinové žlaby a může zde vzniknout i zborcená plocha povrchu chodníku. Jednu hranu plochy tvoří vodorovná úroveň požárních dveří, druhou obrubník vozovky proměnné výšky i sklonu. I tento poměrně složitý detail se podařilo zhotoviteli zvládnout a požadavek normy je splněn. Na změnu výškové úrovně chodníku musel reagovat i finišer při pokládce vozovky. Na *obr. 4* je vidět pás finišeru v místě postupného snižování úrovně chodníku na úroveň vozovky.

Další zajímavostí v tunelech je drsnost vozovky. Zkušenosti z již provozovaných tunelů ukazují, že se podstatně rychleji zanášá striáž a snižuje se adheze CBK, což prodlužuje brzdnou dráhu vozidel. Tento jev si lze vysvětlit tak, že mimo tunel jsou jemné částice prachu vymývány deštěm, zatímco mytí vozovky



Obr. 4 Snižování chodníku v místě tunelové propojky



Obr. 6 Měření hloubky zdrsnění vozovky

v tunelu není schopné tuto přirozenou údržbu povrchu vozovky zajistit. Proto hraje hloubka a provádění striáže důležitou roli. Příliš hluboká striáž zvyšuje hlučnost jízdy, mělká snižuje její bezpečnost. Proto byla metodě provádění věnována velká pozornost a nakonec byla standardně používána metoda tažení juty nahrazena ruční tvorbou vrypů ocelovým koštětem. Při průjezdu tunelem si můžete říci, že každý vroubek vozovky je vlastně originál (*obr. 5*). Měření hloubky vrypů se pak určí na základě průměru kruhu, který vytvoří jemnozrnný materiál o známém objemu po vpravení do striáže vozovky. Provádění měření hloubky vrypů zachycuje *obr. 6*.

Kabelovody a jejich dispoziční řešení

Kabelovody jsou v tunelu situovány v prostoru pod chodníkem po obou stranách vozovky. Při projektování kabelovodů narazí projektant stavební části na zásadní problém hned při prvních logických otázkách: Kolik kabelů potřebujete převést a kam, o jaké typy kabelů se jedná a jaká by měla být rezerva pro jejich vedení do budoucna? Problém je zpravidla v tom, že zatímco realizační dokumentace stavební části je při projektování kabelovodů již prakticky hotová, dokumentace pro technologické vybavení tunelu v lepším případě teprve začíná svou dlouhou pouť ke zdárnému konci. Proto zní odpověď většinou tak, že je potřeba chráničkami vyplnit celý prostor pod chodníkem. V první verzi realizační dokumentace byl prostor na základě tohoto požadavku úplně vyplněn chráničkami jednotného profilu DN 110 mm. V průběhu zpracování dokumentace byly některé z nich nahrazeny chráničkami DN 160 mm, ve kterých měly být umístěny optické kabely. V konečné verzi dokumentace byly v kabelovodu použity pro všechny kabely chráničky DN 110 mm, pouze pro kabely nouzového osvětlení chráničky DN 63 mm. Na *obr. 7* je kromě chrániček vidět i požární vodovod a šterbinový žlab odvodnění vozovky. Neustálé změny vedly ke



Obr. 7 Umístění chrániček v kabelovodu

zdržení realizační dokumentace a podstatně mu zvýšení její pracnosti. Na základě této skutečnosti lze pro zpracování zadávací dokumentace tunelů doporučit alespoň uvedení výkresu s obsazeností chrániček kabely jednotlivých provozních souborů.

Díky překlápní celého profilu tunelu kolem jeho osy v souladu s překlápním příčného sklonu vozovky v protisměrných obloucích je prostor pod chodníkem v celé délce tunelu stejný a jeho využití je efektivní. Princip příčného natáčení tunelu je podrobně popsán v článku o tunelu uveřejněném v časopise *Inženýrské stavby / Inženýrské stavby 5/2010*. Stejná plocha kabelovodu v celé délce tunelu vedla k určité unifikaci technického řešení a usnadnila vlastní provádění.

Součástí kabelovodu tvoří kabelové šachty a jejich poklopy. Zatímco kabelová šachta vznikne pouze bedněním betonu kabelovodu a osazením rámu pro poklop, volba poklopů doznala v průběhu projektování změn. Nejprve byly použity litinové poklopy, které jsou ve výrobním programu mnoha dodavatelů. Na základě požadavku ŘSD ČR nakonec zvítězila varianta betonového poklopu vsazeného do nerezového rámu. Výhodou je výroba poklopu o rozměrech přesně odpovídajících rozměrům kabelové šachty. Další nespornou výhodou je skutečnost, že o tyto poklopy nejvíce zájem naši nepřizpůsobiví spoluobčané, pro které jsou ocelové poklopy snadnou kořistí. Monolitický poklop je betonován do nerezového rámu, který je kónicky zkosen. Obdobně tvarovaný rám po obvodu kabelové šachty představuje protikus, který umožňuje snadné utěsnění spáry a zamezuje při údržbě tunelu zatečení vody do kabelovodu. Princip monolitického poklopu ukazuje obr. 8.

Veškeré kabely, které je potřeba z kabelovodu dovést k příslušnému technologickému vybavení, jsou vedeny v chráničkách v ostění. Kabel do chráničky odbočuje v kabelové šachtě a pomocí zatahovacích lanek jsou kabely protaženy například ke kamerám, ventilátorům nebo k osvětlení tunelu. Vyústění kabelu na povrch ostění je přes kabelové niky, které jsou betonovány současně s definitivním ostěním tunelu. Příčné propojení bočních kabelovodů zpravidla tvoří trojice chrániček. Je-li potřeba příčně převést více kabelů (například v místě tunelových propojek), jsou jednotlivé trojice chrániček od sebe patřičně vzdáleny, aby se ostění lokálně neoslabilo. Další kabely jsou vedeny na kabelovém roštu pod stropem tunelu.



Obr. 8 Monolitický poklop kabelové šachty

Nátírat, či nenátírat? A jestli ano, tak jak?

Nátěr definitivního monolitického ostění tunelu může mít buď jen zesvětlující funkci, nebo i ochrannou. Prostředí v tunelu je vlivem aerosolu vznikajícího jako směs vlhkosti, výfukových plynů a případně soli z úseků před tunelem silně agresivní. V zahraničí se nátěry v tunelech využívají nejen pro zesvětlení, ale zároveň pro ochranu ostění. Česká republika se vydala jiným směrem a agresivité prostředí se brání přímo vlastnostmi betonu. Čistě pro potřeby provozu a dobré pohody řidiče při průjezdu tunelem je do výšky 4 m nad úroveň chodníku proveden pouze zesvětlující nátěr. Ten tunel opticky zvětší a projasní. Nad tímto nátěrem je vrchlík tunelu natřen sjednocujícím nátěrem šedé barvy v odstínu podobném betonu. Parametry zesvětlujícího nátěru vstupují do výpočtu osvětlení tunelu a mají vzhledem k energetické náročnosti osvětlení vliv na výši provozních nákladů.

K prvkům zvyšujícím bezpečnost v tunelu patří viditelné zvýraznění místa tunelové propojky. Místo je zvýrazněno zelenou barvou a také vyšší intenzitou osvětlení a označením únikové cesty. V případě tunelů SOKP 513 byla sjednocena poloha tunelové propojky a SOS skříň, čímž se zpřehlednily i jednotlivé bezpečnostní prvky, neboť každá druhá SOS skříň je instalována v místě tunelové propojky a v souvislosti s tím vyznačena zeleným nátěrem ostění a osvětlením. I když v průběhu výstavby padaly návrhy na různé tvarové úpravy nátěrů v místě tunelových propojek včetně doplnění dalších odstínů barev, nakonec zvítězil jednoduchý návrh projektanta RDS se zesvětlujícím nátěrem do výšky 4 m nad chodníkem a zeleným zvýrazněním místa tunelových propojek. Stejně jsou barevně pojaty i tunely Panenská nebo Libouchec na dálnici D8. Jiná situace je na nedalekém tunelu stavby 514, kde byl na nátěr tunelů vypracován architektonický návrh s poměrně složitým střídáním barevných odstínů modré barvy. I když v průběhu výstavby byl architektonický návrh zjednodušen, s úplným nahrazením jednoduchým zesvětlujícím nátěrem autoři návrhu nesouhlasili. Řidiči proto dnes může díky malé vzdálenosti mezi tunelem sám porovnat efekt světlého tunelu stavby 513 a tmavšího barevného odstínu tunelů stavby 514. Jednoduché provedení nátěrů má výhodu i z hlediska údržby a výše provozních nákladů. Agresivita prostředí v tunelu je velmi vysoká a po určité době bude nutné nátěry obnovit. Údržba probíhá v krátkých

uzavírkách provozu, kdy je možné vždy jednu tunelovou troubu uzavřít a umýt ji, vyčistit drenáže nebo zkontrolovat technologické vybavení tunelu. V obdobné uzavírce bude jednou nutné provést i nové nátěry ostění. Při obnově složitých tvarů a odstínů by bylo jejich opětovné nanášení v uzavírce velmi problematické. Dlouhodobé provozování jedné tunelové trouby obousměrným provozem zase výrazně zvyšuje riziko havárie.

Závěr

Po dokončení stavebních prací nastoupili do tunelu technologové a začala etapa instalace a oživování všech zařízení, která umožňují sledovat provoz v tunelu, vyhodnocovat vzniklé situace a operativně je řešit. Vše směřovalo k termínu 20. 9. 2010, kdy byly tunely stavby 513 spolu se stavbami 512 a 514 uvedeny do provozu. Od provedení prvního záběru v tunelu uplynulo 1 267 dní. To už je i v lidském životě dost dlouhá doba na to, aby zástupcům investora, dodavatelů i projektantů přirostla stavba k srdci. O důležitosti dne zprovoznění významné části silničního okruhu kolem Prahy hovoří i účast prezidenta republiky Václava Klause, tehdejšího primátora hlavního města Prahy Pavla Béma nebo ministra dopravy Víta Bárty. Jeho studentou sprchu v podobě „čočky a sody“, kterou nechal symbolicky občerstvit účastníky otevíracího ceremoniálu, prohrálo zářijové slunce i poděkování stavbařům za technicky náročné dílo z úst prezidenta republiky.

A ještě jedna významná událost v životě tunelu nastala po zprovoznění okruhu. Po celou dobu výstavby byl bezejmenným tunelem stavby 513. Po uvedení do provozu získal jméno a na obrovském panelu dispečinku v Rudné, odkud jsou tunely monitorovány a řízeny, svítí jméno tunel Cholutice.

TEXT: Ing. Libor Mařík
FOTO: IKP Consulting Engineers

Libor Mařík pracuje ve společnosti IKP Consulting Engineers, s. r. o., jako vedoucí oddělení geotechniky a podzemních staveb.

Inner Equipment of Tunnels SOKP 513

At first sight, it could seem that with the concreting of the definitive jamb that was presented in the issue of *Inženýrské stavby/Inženýrské stavby 5/2010* the work on tunnel SOKP 513 construction meant the end for tunnelers and it will be replaced by standard professions connected mainly to the road outward. However, this argument is true only partially. The truth is that following actions, such as installation of canalization, drainage and base course of the road, vernacular road and managing of engineer networks are implemented also outside of the tunnel. However, the managing in a cramped space of the tunnel and especially deeply under the ground calls for abidance by certain specific rules.