

# Vliv optimalizace technického řešení na provádění tunelů Silničního okruhu kolem Prahy - stavby 513

L. Mařík, V. Prajzler & J. Hořejší

*IKP Consulting Engineers, s. r. o., Praha, Czech Republic*

V. Petráš

*SKANSKA BS a.s., Prievidza, Slovak Republic*

R. Bohman

*SUBTERRA a.s., Praha, Czech Republic*

**SOUHRN:** Návrh technického řešení tak složitého díla, jakým je silniční tunel, může mít zásadní vliv na jeho realizaci a v mnoha případech i na výši investičních nákladů. Tunely stavby SOKP 513 patří k významným stavbám na obvodu Prahy a při jejich výstavbě došlo v průběhu zpracování realizační dokumentace k úpravě tvaru příčného řezu tunelu, optimalizaci velikosti výklenků SOS, čištění drenáží i požárního hydrantu, změnám v situování propojek, umístění požárního vodovodu a dalším úpravám celé řady detailů. Cílem příspěvku je poukázat na význam navržených změn z pohledu provádění i následného provozování tunelů na příkladu právě dokončených tunelů stavby SOKP 513.

## 1. ÚVOD

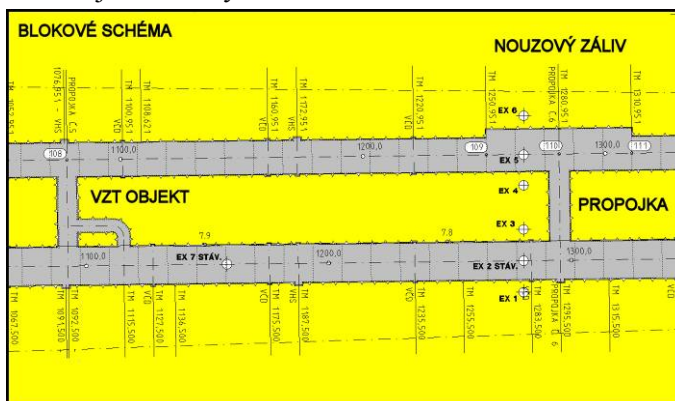
Projektant realizační dokumentace stojí při zahájení prací před velmi obtížným úkolem. Zadávací dokumentace zpravidla není rozpracována do potřebných detailů, a proto je nutné koncepci ražených i hloubených úseků tunelů rozmyslet od fáze ražby a primárního ostění přes provádění izolací a drenáží až k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

## 2. BLOKOVÉ SCHÉMA BETONÁŽE OSTĚNÍ

Původní návrh podle zadávací dokumentace předpokládal betonáž definitivního ostění tunelů stavby 513 po pasech délky 10 m. To má opodstatnění zejména při použití betonu definitivního ostění odolného proti průsakům, kdy je žádoucí omezit vznik trhlin. V případě tunelů SOKP 513 však vodonepropustnost zajišťovala mezilehlá fóliová izolace. Po zvážení všech pozitiv a negativ rozhodl zhotovitel po projednání s investorem o prodloužení bloku betonáže na 12 m, což má pozitivní dopad do rychlosti provádění a omezení počtu spár. K prestiži projektanta RDS patří takový návrh technického řešení, který zhotovitelé maximálně usnadní provádění při zachování nebo zvýšení investorem požadované kvality díla. V případě návrhu blokového schéma se jedná o maximální snížení počtu typů bloků betonáže. Část blokového schéma v oblasti nouzového zálivu a vzduchotechnického objektu ukazuje obrázek č. 1. Atypické bloky znamenají úpravy technologického postupu výstavby, přípravu atypické výztuže, komplikace při bednění a s tím spojené zvýšené ri-

ziko 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 výklenku 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.



Obrázek 1. Příklad blokového schéma definitivního ostění

Návrh blokového schématu 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 do hlavních tunelů se nachází výklenek kabiny SOS, další výklenek kabiny SOS je umístěn zhruba do poloviny vzdálenosti mezi tunelovými propojkami. Výklenky po-

žárního hydrantu se pak nacházejí proti výklenkům kabiny SOS nebo v ústí tunelové propojky. Díky tomuto 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:

- 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 (celkem 9 ks);

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

### 3. PŘÍČNÉ NATÁČENÍ TUNELU

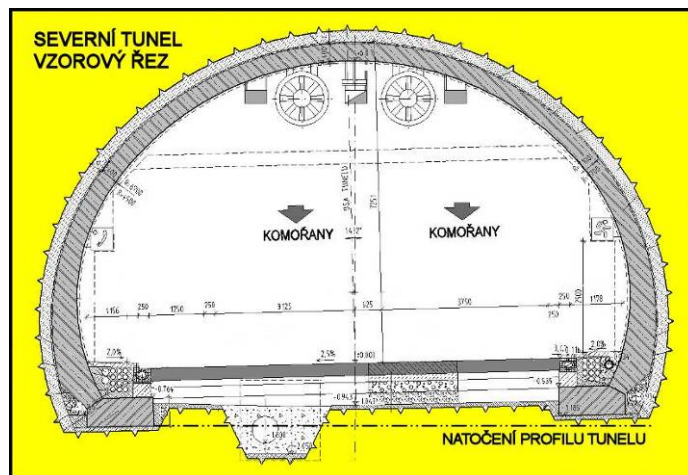
Optimalizace technického řešení bylo možné dosáhnout díky speciálnímu opatření, které je v České republice používáno jen zřídka, v zahraničí se však pro optimalizaci tvaru tunelu běžně používá. Jedná se o příčné natočení profilu tunelu v závislosti na příčném klopení vozovky.

Z hlediska směrového řešení se trasa komunikace v tunelovém úseku nachází ve dvou 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;

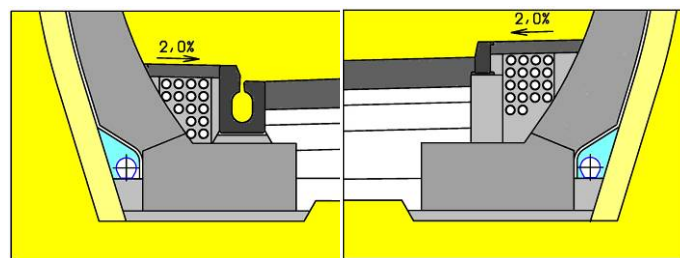
- proměnnou plochu prostoru pod chodníkem a tím i problematickou využitelnost prostoru pod chodníky pro vedení inženýrských sítí;
- proměnnou šířku chodníku;
- proměnnou výšku upevnění bednění výklenků na bednicím voze;

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 80 km/h a vhodné volbě směrového oblouku vozovku i v případě protisměrných oblouků nepřeklápet, což by eliminovalo výše uvedené nevýhody. Návrh projektanta realizační dokumentace na takové řešení však již nebylo možné v průběhu stavby z časových důvodů akceptovat. Po dohodě se zhotovitelem a investorem navrhl proto projektant realizační dokumentace technické řešení využívající příčné natáčení profilu tunelu podle příčného sklonu vozovky, které je náročnější na projekční práce a vytyčování na stavbě, z hlediska vlastního provádění však přináší celou řadu nesporných výhod. Kromě problému s odvodněním vozovky řeší všechny další dříve uvedené komplikace. Příčný řez tunelem viz obrázek 2.



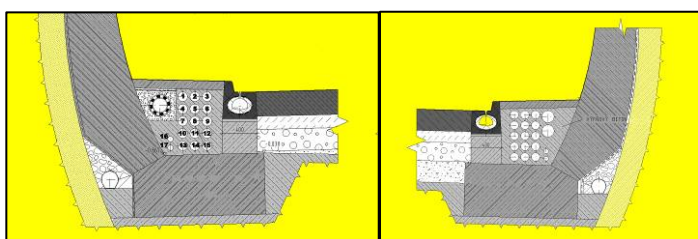
Obrázek 2. Příčný řez severním tunelem po natočení

Při překlápení 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. Obrázek 3. ukazuje dispozici kabelovodu na levé a pravé straně tunelu podle zadávací dokumentace, kdy byl ještě požární vodovod uložen pod vozovkou a tunel se nepřeklápe.



Obrázek 3. Dispozice kabelovodů před optimalizací

Zatímco na levé straně je prostor pod chodníkem zcela vyplněn chráničkami pro vedení kabelů, na pravé straně je nad patkou tunelu nevyužitelný volný prostor. Překlopením vozovky při nenatočeném profilu tunelu dochází nejen ke změně prostorových poměrů pod chodníkem, ale mění se i šířka chodníku, hloubka šachet na čištění drenáže, výška podbetonávky pod obrubníky a šterbinové žlaby. Překlápěním profilu tunelu podle průsečiku osy tunelu prakticky nemění, což má mimo jiného i pozitivní dopad na umístění obrubníků, šterbinových žlabů pro odvodnění vozovky a na ně napojených samozhášecích kusů (viz obrázek 4). Konstantní zůstává i poměr desek spárořezu chodníku. Plocha prostoru pod chodníkem je v celé délce tunelu stejná, což ji umožňuje beze zbytku využít pro umístění kabelovodů a v levé části tunelu i potrubí požárního vodovodu. Investiční náklady spojené s prováděním chodníků i kabelovodů jsou při optimalizovaném technickém řešení efektivně vynaloženy.



Obrázek 4. Dispozice kabelovodů po optimalizaci

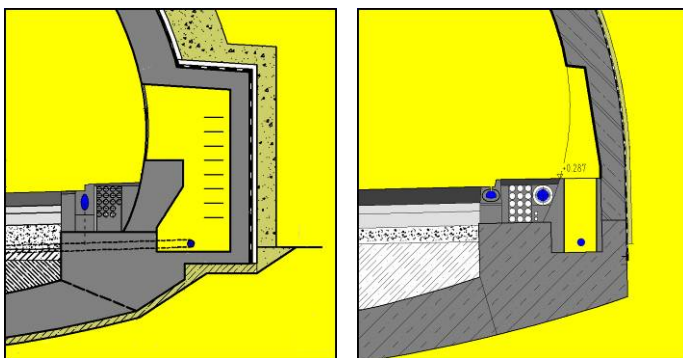
Pro bednění definitivního ostění tunelů byl standardně použit bednicí vůz. V případě bednění výklenků a krčků propojek je nutné na ocelový plášť bednicího vozu připevnit speciální nástavec. Při překlápění profilu tunelu podle sklonu vozovky lze nástavec umístit vždy do stejného místa, což eliminuje vznik chyb při osazení bednění. 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 průsečiku 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 odchylce v umístění niky nouzového osvětlení v řádu centimetrů, která však byla 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.

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 tunelu provádět plynule, ale ve skocích odpovídajících délkou bloku betonáže. Převýšení, jaké 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 vzestupnice vypočtenou podle normy, ale na délku pře-

chodnice, která je delší. K překlopení vozovky dochází hluboko v tunelu, kde nehrozí, že by na povrchu vozovky mohla stát voda, neboť jediný případ, kdy může být na povrchu vozovky voda, nastává při mytí tunelu, které se provádí při přerušení provozu.

#### 4. OPTIMALIZACE TVARU VÝKLENKŮ

Při projektování realizační dokumentace tunelů stavby 513 Silničního okruhu kolem Prahy využil zpracovatel realizační dokumentace zkušeností z projektování tunelu Libouchec na dálnici D8 a po četných jednáních s investorem a budoucím provozovatelem se mu podařilo prosadit zmenšení průměru šachet čištění boční drenáže z 800 mm na 600 mm. Výsledek optimalizace byl ještě mnohem markantnější, než u tunelů na dálnici D8 a je zřejmý z obrázku č. 5.



Obrázek 5. Úprava tvaru výklenku čištění drenáže

Hlavní obavou investora při zmenšení průměru šachty je následná údržba. Zkušenosti z provozu ukazují, že průměr šachty 500 mm u tunelu Libouchec nečiní při čištění žádné problémy. Zásadní roli hraje pravidelná údržba drenážního systému, zejména v prvních letech po uvedení tunelu do provozu, kdy dochází k vyluhování jemných částic z horninového masivu i ze stříkaného betonu primárního ostění. Při prvním čištění po uvedení tunelu do provozu se ukázalo, že sedimenty v potrubí již provozovaných tunelů mohou dosahovat značných tloušťek. K rozptýlení obav investora přispělo zmenšení hloubky šachet. Tunely SOKP513 se nachází ve dvou protisměrných obloucích s příčným sklonem vozovky 2,5%. Díky natáčení celého profilu tunelu podle příčného sklonu vozovky došlo ke snížení hloubky šachty oproti původnímu návrhu o 15 cm. U nenatočeného profilu při šířce třípruhového tunelu 14,5 m, u čtyřpruhového dokonce 18 m, příčný sklon výrazně ovlivňuje prostorové uspořádání na boku tunelu a tím i hloubku drenáží pod úroveň chodníku. Zmenšení průměru šachty a použití zalomení zadní stěny výklenku vedlo k takovému zmenšení výklenku čištění drenáže, že konstrukčně nezasahoval do rubu ostění hloubeného tunelu. Stejný tvar výklenku čištění drenáže byl použit i pro výklenky požárních hydrantů, což bylo umožněno návrhem speciálních tunelových hydrantů s vývody typu A a B umístěnými nad sebou kolmo k ose tunelu. To vedlo k dalšímu zjednodušení bednicích prvků definitivního ostění. Tento tvar výklenků, vyvinutý z potřeby zjednodušení bednění hloubených tunelů, byl nakonec použit i v ražených úsecích tunelů stavby 513. Naopak negativní dopad do konstrukčního řešení tunelového ostění měly požadavky na vedení drenáží. Zatímco v ražené části tunelu probíhá tunelová drenáž podél patky

ostění přímo, u hloubeného tunelu zabíhá díky tvaru rubu ostění tunelu do výklenku na čištění drenáže a následně vybíhá opět za rub ostění. Úhel odbočení hraje významnou roli z hlediska konstrukčních úprav výztuže ostění. Zatímco na tunelu Libouchec probíhalo odbočení pod úhlem 30°, v případě tunelů stavby SOKP 513 nastavil investor přísnější kritérium a požadoval provést odbočení pod úhlem pouhých 15° s ohledem na lepší možnost revize a čištění drenážního potrubí. Zdánlivě ideální řešení z hlediska vodařského se negativně promítlo do konstrukčního řešení z hlediska stavebního. Prodloužení úseku, kde drenážní trubka prochází patou tunelu, i nepříznivý úhel drenáže k ostění ovlivnily provádění výztuže na



úseku délky přes 3 m. Důsledky tohoto požadavku jsou patrné z obrázku 6.

Obrázek 6. Přerušování výztuže v místě drenáže

Příklad ukazuje nutnost hledání kompromisů při nalezení optimálního technického řešení a posuzování konkrétních detailů z pohledu všech zúčastněných profesí.

## 5. SITUOVÁNÍ POŽÁRNÍHO VODOVODU

Zadávací dokumentace předpokládala umístění požárního vodovodu v podkladních vrstvách vozovky. Jednalo se o potrubí z tvárné litiny o průměru 200 mm, ze kterého byly provedeny odbočky k požárním hydrantům umístěným ve výklencích v ostění vpravo ve směru jízdy. Vzhledem k délce a podélnému sklonu tunelu 4% bylo nutné redukovat tlak v potrubí tak, aby nepřekročil hodnotu 1,2 MPa. Po konzultaci se zástupci hasičského záchranného sboru bylo snahou projektanta omezit tlak na doporučenou hodnotu 1,0 MPa. V původním řešení byl vodovod rozdělen na 3 tlaková pásma umístěním redukčních ventilů a zokruhováním potrubí přes tunelové propojky. Čerpadla byla umístěna v provozně technologických objektech na obou portálech. Snahou projektanta realizační dokumentace bylo dosáhnout přesunu požárního potrubí z prostoru pod vozovkou do prostoru podél kabelovodu pod chodníkem, jak je běžné u zahraničních tunelů. Úloha byla poměrně obtížná, neboť vše probíhalo již během výstavby tunelu a prostorové poměry pod chodníkem byly stísněné. Většina prostoru byla vyplněna chráničkami na vedení kabelů a s umístěním potrubí požárního

potrubí se v původním návrhu nepočítalo. Změna byla možná jednak díky již popsanému natáčení příčného řezu tunelu, jednak pozitivnímu přístupu projektantů technologie, kteří upřesnili požadavky na vedení kabelů. Průměr potrubí byl snížen z 200 mm na normou přípustných 150 mm. Na obrázku 7 je konečné řešení umístění chrániček v kabelovodu, štěrbinový žlab pro odvodnění vozovky a potrubí požárního vodovodu situované podél kabelovodu. Dvě menší chráničky situované pod



požárními potrubími slouží k vedení kabelů nouzového osvětlení.

Obrázek 7. Kabelovod a požární vodovod třípruhového tunelu

Velké diskuse probíhaly v souvislosti se zajištěním ochrany proti mrazu. V případě již provozovaného tunelu Libouchec byla použita ochrana pomocí topných kabelů a podle informace provozovatele se spotřeba elektrické energie v zimních měsících na celkové spotřebě tunelu prakticky neprojevuje, i když tunel leží ve větší nadmořské výšce. V případě tunelů stavby 513 předpokládal projektant ochranu tepelně izolovaného potrubí pomocí cirkulace vody, jak je obvyklé u většiny alpských tunelů. Návrh však neobstál u zástupce autorského dozoru, stejně jako návrh na použití dodatečně tepelně izolované potrubí. Dle požadavku autorského dozoru byly proto použity dražší, továrně izolované trubky a systém byl doplněn o jednotku pro průtokový ohřev vody umístěnou v provozně technologickém objektu níže položeného portálu Komořany. Podařilo se však systém zjednodušit rozdělením na pouze 2 tlaková pásma a odstraněním čerpadel z výše položeného portálu, která vodu tlačila proti redukčním ventilům. Požadavek na přesun vodovodu pod chodník podporovali zejména zástupci provozu RSD, kteří měli za sebou negativní zkušenost z havárie potrubí pod vozovkou již provozovaného tunelu Panenská, která znamenala dlouhodobý únik vody do podkladních vrstev vozovky, náročné hledání místa poruchy i nutnou destrukci betonové vozovky v místě poruchy (viz obrázek 8). Havárie znamenala po dobu opravy omezení provozu dálnice a zejména zvýšení rizika nehody v obousměrně provozované tunelové troubě.

I přes četné obstrukce za strany autorského dozoru se podařilo návrh dotáhnout do úspěšné realizace a po tunelu Libouchec se jedná o druhý dálniční tunel v ČR, který má požární vodovod situovaný v prostoru pod chodníkem. Průtokový ohřev vody pravděpodobně nezpůsobí výrazný nárůst provozních nákladů, neboť lze předpokládat, že dostatečnou ochranu proti zamrznutí poskytne cirkulace vody případně kombinovaná s dopouštěním vody z vodovodního řádu, na který je potrubí napojeno. V případě, že by se dlouhodobě ukázalo použití ohřevu vody jako neopodstatněné, je systém navržen tak, že lze tuto část zařízení bez větších komplikací odstranit. I když zařízení na ohřev vody nebude



v provozu, bude jej muset provozovatel udržovat v provozuschopném stavu.

Obrázek 8. Oprava potrubí požárního vodovodu pod vozovkou

## 6. DIMENZOVÁNÍ A PROVÁDĚNÍ OSTĚNÍ

Geotechnické poměry zjištěné během výstavby nasvědčovaly tomu, že se v okolí výrubu nachází velmi kvalitní horninový masiv. Při ploše výrubu dvoupruhového tunelu 107 m<sup>2</sup> se deformace primárního ostění pohybovaly v řádu milimetrů, pouze v příportálových 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 nutné navrhnout 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/m<sup>3</sup> uvažovaných v zadávací dokumentaci na 72 kg/m<sup>3</sup>. Nosnou výztuž montovanou pouze ze sítě KARI Q513 podbíraly speciálně připravené armokoše stykované pomocí lanových spojek. Navržený způsob stykání armokošů zajišťuje flexibilitu spoje a oproti použití tuhých šroubovaných spojů pomocí styčnickových plechů a

snižuje riziko poškození izolace při osazování bednicího vozu, kdy může dojít k dotlačení výztuže až na izolační fólii. 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 pod tíhou výztužných sítí k nadměrné deformaci výztužných rámu a zhotovitel použil k uchycení výztuže do horninového masivu speciální kotevní prvky, neboť bylo nutné projít přes hydroizolační fólii. Montáž výztuže jednoho bloku betonáže severního tunelu trvala zpočátku podle typu bloku 4 až 5 dní. Po zacvičení osádky byla zkrácena až na 2–3 dny v nepřetržitém provozu. Vyztužování probíhalo v předstihu před betonáží. Zpočátku bylo velkým problémem zajištění dostatečného krytí výztuže. Zhotovitel však volbou vhodných distančních prvků, jejich orientací v bednění i způsobem upevnění k výztuži dosáhl požadovaných parametrů a betonáž ostění probíhala bez větších



komplikací. Pohled na připravenou výztuž horní klenby s distančními podložkami viz obr. 9.

Obrázek 9. Samonosná výztuž definitivního ostění

Doba betonáže se pohybovala od 7 do 12 hod. a odbednění probíhalo v závislosti na teplotě prostředí v tunelu do 11 až 15 hod. po ukončení betonáže. Pro ostění byl použit beton C30/37 XF4 XD3. V době odbednění dosahovala pevnost betonu 10 až 15 MPa, což zaručovalo samonosnost ostění zatíženého pouze vlastní vahou a teplotními vlivy v závislosti na klimatických podmínkách daného ročního období. Zatížení horninovým tlakem v té době plně přenášelo primární ostění a zatížení hydrostatickým tlakem vylučuje navržený deštníkový systém hydroizolace. Výsledky geotechnického monitoringu ukázaly, že deformace primárního ostění se ve všech měřených profilech před zahájením betonáže ustálily a v horninovém masivu došlo k obnově rovnovážného stavu.

Vzhledem k tomu, že ze strany investora ŘSD vznikl požadavek na zkrácení doby výstavby a 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 izolačerského vozu (výrobek Renesco), armovacího vozu (výrobek CIFA) a bednicí formy (výrobek CIFA). První sestava byla nasažena 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 993,10 m tunelu s průměrným postupem 5,24 m/ den. V hloubeném



úseku bylo navíc použito bednění rubu ostění (viz obr. 10).

Obrázek 10. Vnější (vlevo) a vnitřní (vpravo) bednění tunelu

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 sousedního třípruhového hloubeného tunelu ve stavební jámě Komořany a před nasazením musela 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 Klimkovic 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 (viz obr. 11).

Obrázek 11. Bednicí vůz v místě nouzového zálivu

Ačkoli výrobce předpokládal pro přestavbu a přemístění formy do zálivu 40 dní, podařilo se zhotoviteli celou operaci zvládnout za 17 dní. Po provedení betonáže 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 vzdálenosti se proces protáhl tentokrát na 21 dní. I tak se jednalo o velmi dobrý výkon, který urychlil celkovou dobu betonáže tunelu. Na závěr byla tato forma přemístěna

na cholupický portál, kde byla po demontáži první formy rovněž demontována. Celkem tato sestava vybetonovala 757,59 m definitivního ostění, z toho 120 m v nouzovém zálivu, s průměrným postupem 6,10 m/den – nepočítáme-li dobu přestavby formy. Veškeré betonáže na raženém i hloubeném úseku tunelu realizovaném firmou Subterra byly zahájeny dne 14.10.2008 a ukončeny dne 5.7.2009.

## 7. ZÁVĚR

V době konání konference jsou ukončeny práce na stavební i technologické části tunelů stavby 513. Lze konstatovat, že navržené změny pozitivně ovlivnily jak vlastní provádění, tak i následné užívání tunelů. Při optimalizaci technického řešení byly použity roky vyzkoušené detaily a postupy ze zahraničních provozovaných tunelů. V průběhu zpracování realizační dokumentace již nebylo možné optimalizovat tvar tunelů, což vedlo k nutnosti použití vyztuženého ostění i v případě velmi stabilního horninového prostředí s deformacemi výrubu do 30 mm. Nebylo možné ani upravit směrové řešení tak, aby nedocházelo k překlopení vozovky. Podařilo se však výrazně zmenšit rozměry výklenků požárního hydrantu a čišťení drenáže, optimalizovat blokové schéma definitivního ostění i tvar kabelovodů umístěných pod chodníkem. Odstranění požárního vodovodu z prostoru pod vozovkou vyloučilo riziko následného bourání betonové vozovky v případě poruchy potrubí. Další výraznou změnu na vzduchotechnickém objektu Nouzov uvádí jiný příspěvek tohoto sborníku. Popisované změny probíhaly až během výstavby, komplikovaly zpracování realizační dokumentace i její projednávání a byly příčinou celé řady stresových situací. Ke změnám mohlo dojít jen díky pozitivnímu přístupu všech účastníků výstavby. Provádění tunelů a kontakt s moderními tunelovacími metodami v ČR na dlouhých 40 let přerušil totalitní režim, což se stále projevuje nedostatkem kvalitních směrnic, norem, předpisů i cenných vlastních zkušeností. Pokud nově získané poznatky z realizace tunelů stavby 513 ukáží cestu při projektování a realizaci dalších tunelů, nebylo vynaložené úsilí zbytečné.