

# PROJEKTOVÁNÍ A KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PŘI PROVÁDĚNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ RAŽENÝCH ÚSEKŮ TUNELŮ NA STAVBĚ SOKP 513

Anton Petko, Vladimír Prajzler, Libor Mařík

## 1 Úvod

Projektování a realizace jsou termíny, které spolu velmi úzce souvisí v jakékoli lidské činnosti. V oblasti tunelů to platí zvláště, protože kromě technické zdatnosti a erudice do obou činností vstupuje geotechnické riziko spojené s omezenou schopností prozkoumat do všech detailů horninový masiv, ve kterém je podzemní dílo raženo.



V praxi to znamená schopnost do určité míry předvídat možné scénáře při ražbě tunelu a snažit se vyvarovat vhodným návrhem technického řešení neočekávaným událostem. Během ražby se jedná především o bezpečné zajištění stability výrubu primárním ostěním, v dalších etapách výstavby je nutné zaměřit pozornost na preciznost navrhovaných technologických postupů. Převratné objevy na poli tunelářských technologií nejsou otázkou roků a kvalitní realizační dokumentace proto stojí na mnoha detailech, které do sebe musí zapadat jako mozaika. Slovo „tunelář“ je v České republice vnímáno pejorativně, ale jedná se o velmi namáhavou práci v těžkých podmínkách. Úkolem projektanta je dodat zhotoviteli realizační dokumentaci, podle které se dá tunel postavit bez dalších komplikací a s použitím dobře zvládnutelných technologických postupů. Předmětem příspěvku je ukázat na příkladech z realizace tunelů SOKP stavby 513 některé úpravy, které vedly ke zjednodušení původně navrhovaného technického řešení, nebo usnadnění provádění.

Obr. 1 Samonosná výztuž raženého úseku tunelu

## 2 Popis trasy a základní parametry tunelů

Stavba 513 jako součást silničního okruhu kolem Prahy (SOKP) tvoří významnou spojnicí mezi dálnicemi D1 a D5 a spolu se současně prováděnými stavbami 514 a 512 po uvedení do provozu v roce 2010 významně odlehčí střed města od tranzitní automobilové dopravy. Trasa prochází územím, na jehož utváření se podílela řeka Vltava a reliéf terénu i geotechnické poměry tomu odpovídají. Trasa tunelů stoupá od Vltavy směrem k Cholupicím a zatímco v oblasti komořanského portálu prochází mocnými vrstvami písků,

na cholupické straně již hloubené tunely pevně stojí na skalním podloží. I v raženém úseku tunelu zastihli raziči firmy SKANSKA BS, která je nositelem zakázky na výstavbu tunelových objektů, velmi kvalitní horninové prostředí tvořené v Praze dobře známými jílovitými břidlicemi, drobnými a křemenci. Rozdílné geotechnické podmínky na obou portálech ovlivnily konstrukční řešení tunelu. Zatímco v prostředí písků komořanského portálu zůstala základovou konstrukcí hloubených



Obr. 2 Geologické poměry při ražbě

tunelů spodní klenba, na cholupickém portále bylo na základě skutečně zastižených geotechnických podmínek rozhodnuto o nahrazení spodní klenby základovými patkami.

Tunelový úsek trasy silničního okruhu se nachází v protisměrných obloucích s mezipřímou, oba tunely stoupají od Komořan k Cholupicím ve sklonu 4%, což je i důvodem, proč je ve stoupacím směru navržen třípruhový tunel. Ve směru klesání je navržen dvoupruhový tunel, který byl v průběhu výstavby rozšířen a v celé délce tunelu probíhá nouzový pruh o šířce 1,5 m. Další bezpečnostní opatření ve dvoupruhovém tunelu představují dva nouzové zálivy situované zhruba ve třetinách délky tunelu. V místě nouzových zálivů dvoupruhového tunelu propojují oba tunely průjezdné tunelové propojky. Kromě 2 průjezdných propojek se v tunelu nachází dalších 6 průchozích propojek, jejichž profil je stejný, jako v případě průjezdných propojek a část propojky je využita pro instalaci technologického vybavení tunelu. V oblasti portálu Komořany dochází k rozšíření tunelů s ohledem na umístění odbočovacích a připojovacích pruhů budoucí mimoúrovňové křižovatky. Dvoupruhový ražený tunel se rozšiřuje na třípruhový hloubený tunel a třípruhový ražený tunel se rozšiřuje na čtyřpruhový hloubený tunel. V oblasti portálu Cholupice se z hlediska počtu pruhů nic nemění a tunely mají stejný vnitřní profil v ražené i hloubené části. Mění se ale dimenze ostění. Tloušťka ostění hloubeného čtyřpruhového tunelu Komořany dosahuje ve vrcholu klenby podle výšky nadloží 0,8-1,0 m, hloubený třípruhový tunel Komořany a oba hloubené tunely na cholupickém portále mají tloušťku ostění 0,6 m. Tloušťka ostění ražených úseků tunelu a nouzového zálivu je min. 0,4 m. Minimální tloušťka ostění ve vrcholu klenby se směru k opěrám zvětšuje.



Obr. 3 Hloubené tunely na portále Komořany

<b>ZÁKLADNÍ PARAMETRY TUNELŮ</b>		
Délka severního hloubeného třípruhového tunelu Komořany	171,0	[m]
Délka severního raženého dvoupruhového tunelu	1675,7	[m]
Délka severního hloubeného dvoupruhového tunelu Cholupice	72,0	[m]
<b>DÉLKA SEVERNÍHO TUNELU CELKEM</b>	<b>1918,7</b>	<b>[m]</b>
Délka jižního hloubeného čtyřpruhového tunelu Komořany	173,5	[m]
Délka jižního raženého třípruhového tunelu	1680,0	[m]
Délka jižního hloubeného třípruhového tunelu Cholupice	85,0	[m]
<b>DÉLKA JIŽNÍHO TUNELU CELKEM</b>	<b>1938,5</b>	<b>[m]</b>
Plocha výrubu jižního třípruhového tunelu s klenbou	165	[m <sup>2</sup> ]
Plocha výrubu jižního třípruhového tunelu na patkách	138	[m <sup>2</sup> ]
Plocha výrubu severního dvoupruhového tunelu s klenbou	130	[m <sup>2</sup> ]
Plocha výrubu severního dvoupruhového tunelu na patkách	107	[m <sup>2</sup> ]
Plocha výrubu nouzového zálivu severního tunelu	143	[m <sup>2</sup> ]
Plocha výrubu propojky	52	[m <sup>2</sup> ]
Tloušťka ostění severního hloubeného tunelu Komořany	0,6	[m]
Tloušťka ostění severního raženého tunelu	0,4	[m]
Tloušťka ostění severního hloubeného tunelu Cholupice	0,6	[m]
Tloušťka ostění nouzového zálivu severního tunelu	0,4	[m]
Tloušťka ostění jižního hloubeného tunelu Komořany	0,8 – 1,0	[m]
Tloušťka ostění jižního raženého tunelu	0,4	[m]
Tloušťka ostění jižního hloubeného tunelu Cholupice	0,6	[m]

### 3 Tolerance tloušťky definitivního ostění

I když se příspěvek zaměřuje na provádění definitivního ostění, nelze se nezmínit o primární ostění tunelu, tvořeným stříkaným betonem se sítěmi KARI, ocelovými příhradovými rámy a v první řadě systémovým kotvením, které zajišťuje spolupůsobení subtilní vrstvy stříkaného betonu s mohutným nosným prstencem, který představuje prokotvená hornina v okolí výrubu. Na podpoře samonosnosti horninového masivu a vytvoření nosného horninového prstence stojí základy Nové rakouské tunelovací metody, kterou jsou oba tunely a tunelové propojky raženy. Provádění definitivního ostění

s primárním ostěním úzce souvisí, protože tvoří spolu s hydroizolačním souvrstvím rubové bednění. Na přesnosti provádění primárního ostění tak podstatnou měrou závisí ekonomický výsledek zhotovitele, neboť všechny odchylky od projektovaného tvaru musí být vyplněny buď stříkaným betonem

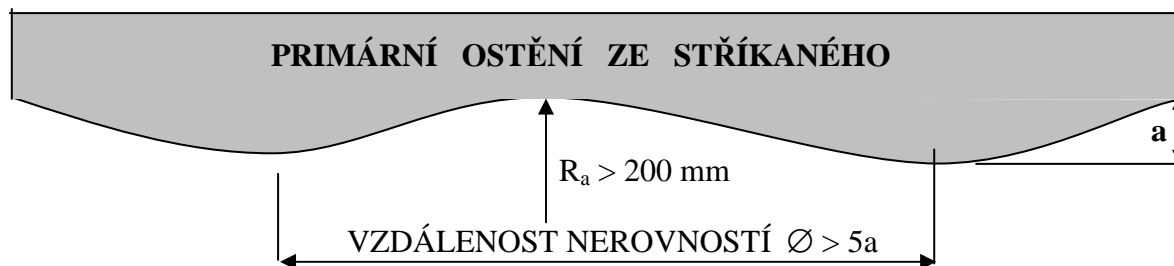


Obr. 4 Ražený úsek tunelu s hydroizolační fólií

primárního ostění, nebo monolitickým betonem definitivního ostění. Pokud primární ostění naopak zasahuje do prostoru definitivního ostění, znamená to pro zhotovitele nákladné a pracné profilování. Pro objednatele, kterým je v případě tunelů SOKP 513 ŘSD ČR, je z geometrického hlediska rozhodující dodržení minimální tloušťky ostění a předepsaného tvaru líce definitivního ostění. Vzhledem k tomu, že zadávací dokumentace povoluje zhotoviteli vyplnit nadvýruba a nevyčerpané tolerance monolitickým betonem, ten toho vzhledem k rozdílu cen stříkaného a monolitického betonu s výhodou využíval. Benevolenci v tomto ohledu omezují pouze 2 kritéria. Prvním kritériem je požadavek na rovinatost primárního ostění jako podkladu pro instalaci mezilehlé hydroizolační fólie. Druhým kritériem je maximální přípustná odchylka od tloušťky definitivního ostění, pro které podle zahraniční literatury platí požadavek:

$$D_{\max} \leq D_{\text{proj}} + 0,4 \text{ m, resp. } 2 \times D_{\text{proj}}$$

Kde  $D_{\max}$  je maximální tloušťka ostění a  $D_{\text{proj}}$  projektovaná tloušťka ostění. Pro stanovení maximální přípustné tloušťky ostění rozhoduje menší z obou hodnot. Požadavky na rovinatost povrchu primárního ostění vyjadřuje následující obrázek, přičemž povrch ostění musí být bez ostrých výstupků a zlomů.



kde:

$a$  je příčná nerovnost

$\varnothing \geq 5a$  vzdálenost nerovností

$R_a \geq 200 \text{ mm}$  poloměr zakřivení nerovnosti

Poslední vrstva betonu primárního ostění musí kromě požadavků na rovinatost povrchu splňovat i požadavky na zrnitost a z ostění musí být před pokládkou hydroizolační fólie odstraněny všechny ostré hrany a výčnělky.

#### 4 Optimalizace příčného řezu tunelu

Optimalizace příčného řezu tunelu je klíčovým prvkem pro veškeré další práce. Tvar tunelu má dopad do způsobu provádění od ražby až po betonáže definitivního ostění. Plocha výrubu úzce souvisí s výší investičních nákladů. V případě tunelů SOKP 513 se nejprve prověřila návaznost tvaru ostění hloubených a ražených úseků. Vzhledem



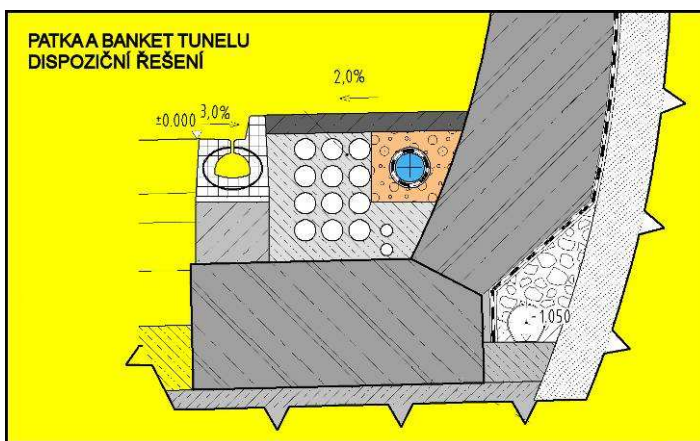
k tomu, že průběh líce ostění nebyl spojitý, došlo k úpravě geometrie tvaru hloubených a ražených úseků tunelu tak, aby konstrukce na sebe navazovaly. Sjednocení tvaru tunelu ovlivňuje výši ceny bedničního vozu a jeho

využitelnost pro betonáž delších úseků tunelu. Tvar tunelu ovlivňuje i geometrii primárního ostění. Je výhodné, aby profil kaloty tunelu tvořila pouze jedna kružnice, aby výztužné rámy primárního ostění byly unifikované a vzájemně zaměnitelné. To se bohužel u tunelů SOKP nepodařilo zajistit. Plochý tvar tunelů byl i jedním z důvodů, proč se nepodařilo navrhnout definitivní ostění bez výztuže.

#### 4.1 Úprava dispozičního řešení patek a tunelových banketů

Cílem úpravy dispozičního řešení banketu byla vize projektanta RDS na umístění potrubí požárního vodovodu podél kabelovodu pod chodníkem a nikoli pod vozovkou, jak tomu bylo v zadávací dokumentaci. Úprava se vyplatila při pozdějších debatách o vhodnosti či nevhodnosti umístění potrubí požárního vodovodu. Po negativních zkušenostech při havárii potrubí v tunelu Panenská a za podpory zástupců provozu ŘSD ČR se podařilo přesvědčit zástupce autorského dozoru, aby připustil umístění potrubí pod chodníkem, i když to bylo za cenu ústupku – podmínky použití drahých tepelně předizolovaných trub a vybudování ohřívací stanice vody v provozně technologickém objektu Komořany.

Další úpravy v oblasti patek ražených tunelů souvisely se situováním bočních tunelových drenáží a s ukončením mezilehlé deštníkové izolace. Snahou projektanta bylo umístit boční drenáže co nejnižší k úrovni základové spáry patky definitivního 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 podkovovitého tvaru od firmy REHAU, které bylo osazeno až po úroveň příčných drenážních spár na trubkách do spádového betonu vytvarovaného do příčného sklonu směrem k potrubí. 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. 6 Dispozice patky ostění a banketu v tunelu

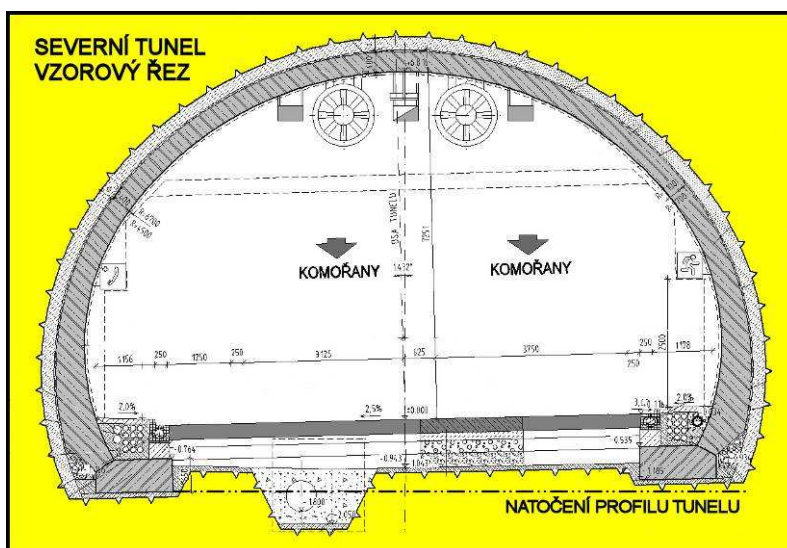
#### 4.2 Význam natáčení profilu tunelu podle příčného klopení vozovky

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;

Po dohodě se zhotovitelem a investorem navrhl proto projektant realizační dokumentace technické řešení využívající příčné překlápění profilu tunelu podle Detail patky, hydroizolace a drenáže

příčného sklonu vozovky, 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



Obr. 7 Nestejně položené patky ostění natočeného tunelu

kabelovodů a potrubí požárního vodovodu. 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.

Pro bednění definitivního ostění tunelů se používá bednicí vůz. Jedná se o sofistikované zařízení vybavené řadou technologických prvků zajišťujících správnou funkci stroje. 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.

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 realizační dokumentace se celý výklenek zasunul 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.

## 5 Závěr

I když plocha výrubu silničních a dálničních tunelů přesahuje 100 m<sup>2</sup>, stále se jedná o stísněný prostor, ve kterém se potkává a vzájemně ovlivňuje celá řada profesí. Výstavba tunelů má proto svá specifika a jedinou cestou, jak dospět k cíli, je nalezení kompromisu v rámci jednotlivých oborů a především mezi obory navzájem. Tuneláři už nestačí jen znalost geotechniky, ale musí být i trochu vodařem, silničářem nebo dokonce hasičem. V ostatních profesích, pokud se pohybují v tunelu, je tomu stejně. Ignorování požadavků ostatních poškozují konečný výsledek. Na několika příkladech jsme ukázali jen část

profese, kterou Szechy kdysi charakterizoval názvem své knihy „The Art of Tunneling“. Projektování i realizace tunelů vyžaduje nadhled, velkorysost a hledání optimálního řešení po celou dobu od projektu až po uvedení do provozu. Schopnost operativní reakce na skutečně zastižené podmínky je ostatně jednou z nutných podmínek aplikace Nové rakouské tunelovací metody. Vstřícným přístupem všech účastníků výstavby se podařilo při stavbě tunelů SOKP 513 dosáhnout mnoha změn, jejichž legislativní projednání sice nebylo jednoduché, které jsou ale nejen zjednodušením výstavby, nebo usnadněním provozování tunelu, ale i posunem oboru zas o kousek dál.

---

### **Ing. Anton Petko**

✉ SKANSKA BS, a. s.  
Košovská cesta 16  
971 74 Prievidza SK

☎ 739 501 518  
📠 283 850 995  
😊 [anton.petko@skanska.sk](mailto:anton.petko@skanska.sk)  
URL [www.skanska.sk](http://www.skanska.sk)

### **Ing. Vladimír Prajzler**

✉ IKP Consulting Engineers, s. r. o.  
Jirsíkova 5  
186 00 Praha 8 - Karlín

☎ 255 733 521  
📠 255 733 605  
😊 [vladimir.prajzler@ikpce.com](mailto:vladimir.prajzler@ikpce.com)  
URL [www.ikpce.com](http://www.ikpce.com)

### **Ing. Libor Mařík**

✉ IKP Consulting Engineers, s. r. o.  
Jirsíkova 5  
186 00 Praha 8 - Karlín

☎ 605 707 767  
📠 255 733 605  
😊 [libor.marik@ikpce.com](mailto:libor.marik@ikpce.com)  
URL [www.ikpce.com](http://www.ikpce.com)