



Studie proveditelnosti Nového železničního spojení Praha - Drážďany

Tunely

Ing. Jiří Velebil

10. prosince 2020

Obsah

Seznam zkratk	5
1 Úvod	6
1.1 Použité zdroje.....	6
2 Popis navrhovaných technologií výstavby.....	6
2.1 Ražba metodou NRTM.....	6
2.2 Ražba tunelů s použitím vrtacích strojů TBM.....	7
2.2.1 Rozdělení strojů TBM.....	8
2.2.2 Rychlost ražby strojem	9
2.2.3 Stavební jámy pro tunely TBM - vybavení pro start ražby	10
2.2.4 Příklad zařízení staveniště.....	10
3 Světly tunelový průřez	11
3.1 Vzorové příčné řezy pro návrh tunelů :	14
3.1.1 Mechanizovaná ražba (TBM), 1-kolejný tunel.....	14
3.1.2 Konvenční ražba (NRTM), 1-kolejný tunel	15
3.1.3 Konvenční ražba (NRTM), 2-kolejný tunel	16
4 Bezpečnostní řešení tunelů	17
5 Návrh tunelových staveb po trase.....	18
5.1 Výjezd z Prahy.....	18
5.1.1 Střížkovský tunel	18
5.2 Středočeský kraj.....	19
5.2.1 Líbeznický tunel.....	19
5.2.2 Ledčický tunel	19
5.3 Ústecký kraj.....	20
5.3.1 Záhořanský tunel.....	21
5.3.2 Středohorský tunel – opravit výjezdový portál, 2.variantní.....	21
5.3.3 Krušnohorský tunel (česká část)	22
6 Závěr	24
6.1 Doporučení pro další projektovou přípravu tunelů	24

Fotografie na titulní straně: zdroj SNCF

Seznam zkratek

AČR	Armáda České republiky
NRTM	Nová rakouská tunelovací metoda
TBM	Tunnel Boring Machine
ŽST	Železniční stanice

1 Úvod

Při hledání nového železničního spojení mezi Prahou a Drážďany v oblasti Českého středohoří, mezi Lovosicemi/Litoměřicemi a Ústím nad Labem, se žádná z variant nevyhne vybudování dlouhých tunelů, které zatím na území ČR neexistují. V úseku procházející České středohoří je uvažováno s tunelem délky přes 18 km. V oblasti Krušných hor, spojující Ústí nad Labem a Heidenau, je uvažováno s přeshraničním tunelem délky přibližně 25 km, na území České republiky směrem ke státní hranici se SRN je délka české části tunelu cca 12 km.

Oblast Českého Středohoří je z hlediska tunelování velmi nepříznivá a to vzhledem ke střídajícím se polohám křídových sedimentů a pozůstatkům vulkanické činnosti. Vyskytují se zde velké rozdíly v pevnostech od jílu až po tvrdé čediče. Projektant při návrhu technologií výstavby tunelů bude muset tyto skutečnosti pečlivě posoudit. Zvláště v případech, kdy délky tunelů již přesahují desítky kilometrů a prakticky jedinou metodou, která zabezpečí ekonomický postup, je v dnešní době ražení s použitím plno profilových mechanizovaných tunelovacích strojů (obecně TBM). Mechanizované tunelování je dynamicky se rozvíjející moderní tunelovací postup, který ve světě dominuje u dlouhých liniových podzemních staveb neměnného příčného průřezu. Zásadním přínosem mechanizovaných postupů je zvýšení bezpečnosti pracovních procesů v podzemí, snížení vlivu ražeb na okolní prostředí, dosažení vyšších kvalitativních parametrů díla a v neposlední řadě zkrácení doby výstavby s efektem nižší celkové ceny podzemní stavby oproti konvenčním metodám ražení.

1.1 Použité zdroje

Doplnit

- Technickoprovozní studie – Sudop Praha a.s, 05/2017
- Inženýrsko - environmentální analýza nového železničního spojení Lovosice - Drážďany na území ČR – Sudop Praha a.s., 06/2017)
- TSI SRT 1303/2014
- ČSN 73 7508 Železniční tunely
- SŽDC Vzorový list pro jednokolejný tunel
- SŽDC Vzorový list pro dvoukolejný tunel

2 Popis navrhovaných technologií výstavby

Ve studii je uvažováno s jednokolejnými tunely realizovanými jak mechanizovanou (TBM), tak i konvenční (NRTM) ražbou. Portálové úseky jsou většinou hloubeny v otevřené stavební jámě, rozsah závisí na konfiguraci terénu a objektech v nadloží.

Dvoukolejné tunely jsou navrženy realizovat technologií NRTM či jako celé výstavbou v otevřené stavební jámě. V prezentovaných návrzích jsou pro jeden tunel použity i různé kombinace metod výstavby. Tyto navržené metody výstavby jsou nás již používané a máme s nimi zkušenosti. Lze samozřejmě razit i jinými metodami, jejichž vhodnost se třeba časem ukáže v souvislostech s novými znalostmi.

2.1 Ražba metodou NRTM

Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM, anglicky NATM, německy NOTM) je metoda sekvenční, univerzální do široké škály geologických podmínek. U nás je nejběžnější metodou ražby tunelů. Profil tunelové trouby je ražen většinou po částech, dílčích čelbách s ohledem geologické a geotechnické podmínky, výjimečně se razí na celý profil tunelu. Tunelovací metoda vědomě a cíleně využívá nosných vlastností horninového masivu s cílem optimalizovat proces ražení a zabezpečování výrubu a minimalizovat s tím spojené ekonomické náklady.

Stabilita výrubu je zajištěna primárním ostěním a definitivní konstrukce tunelové trouby (sekundární ostění) je budována teprve po ustálení napětově-deformačního stavu v okolí výrubu. Hlavními konstrukčními prvky primárního ostění jsou stříkaný beton a kotevny

systém. Nedílnou součástí NRTM je geotechnický monitoring opírající se především o měření deformací tunelového výrubu. NRTM se tak z hlediska geotechnického řadí do skupiny observačních metod, u kterých je průběh výstavby průběžně sledován, a způsob ražby a zajištění výrubu primárním ostěním jsou upravovány podle skutečného chování výrubu a horninového masivu.

Rozhodující délky tunelových částí předpokládaných tras VRT na území ČR budou zřizovány v poloskalních či ve skalních horninových podmínkách. Zkušenosti získané z výstavby železničních tunelů na tranzitních železničních koridorech od roku 1990 potvrzují nejen výše uvedený geologický předpoklad, ale současně i běžnou dosažitelnost dodávek výstavby kratších železničních tunelů v ČR. Ražby nových železničních tunelů byly prováděny s použitím rozpojování hornin pomocí mechanizovaných strojů či trhacích prací (v případě kvalitnějších hornin vyšší třídy pevnosti) a navazujícím prováděním stavební konstrukce tunelu postupem podle zásad tzv. Nové rakouské tunelovací metody - NRTM. Všechny dvoukolejné železniční tunely, nejrozsáhlejší byla výstavba tunelů pražského Nového spojení, byly prováděny jako dvoukolejné s protisměrným provozem vlaků.

Hranice používání délky dvoukolejných železničních tunelových profilů pro používání metody NRTM se v uplynulém období na území sousedních států pohybovala okolo 2 kilometrů. Nicméně pomalejší postup ražby metodou NRTM oproti TBM lze v případech delších tunelů (myšleno délky do 3 - max. 4 km) dohnat součinností ražeb více čeleb najednou z různých směrů.

Uplatnění této technologie NRTM na trase VRT bude zejména na kratších tunelech, doplňkových částech tunelů, únikových, popř. technologických chodbách a všude tam, kde nasazení stroje TBM není možné/vhodné/plánováno ať už z důvodů ekonomických či potřebné realizace sanace okolního horninového prostředí pro hladký/bezpečný průchod stroje TBM, specifických místních podmínek/požadavků.

Dle zkušeností z výstavby v ČR lze předpokládat celkovou potřebu času na provedení železničního dvoukolejného tunelu délky do 2 km s použitím metody NRTM cca 3-4 roky. Ukazatelová cena za takovéto provedení ražby, včetně dodávky stavební konstrukce, by se měla pohybovat orientačně v rozmezí 900 000 Kč - 1 200 000 Kč za běžný metr tunelu bez DPH (záleží na geologických podmínkách a dalších okolnostech výstavby).

2.2 Ražba tunelů s použitím vrtacích strojů TBM

TBM (z anglického Tunnel Boring Machine, doslova tunelový vrtací stroj), je tunelovací metoda, k níž se používají razicí štíty. Tyto štíty slouží k ražení tunelů kruhového průřezu v nejrůznějších druzích zemin a hornin, od písku až po tvrdou skálu.

Výhoda TBM spočívá v omezení propadů povrchu a ve vytváření hladké stěny tunelu. Tímto se výrazně snižují náklady na vybudování tunelu a technologie je dobře použitelná i pod hustě zastavěným územím.

Štíty TBM jsou nákladné na výrobu a jejich přeprava může být obtížná. Nicméně, jak se dnešní tunely stávají delšími, cena těchto strojů oproti ostatním tunelovacím metodám klesá, což způsobuje, že jsou TBM mnohem efektivnější a ražba tunelu je rychlejší. Pro návrh vhodného stroje je potřeba podrobnější znalost geologického prostředí.

Důležitou součástí postupu výstavby je provádění měření, které mají zabránit mimořádným událostem při výstavbě. Čelba je v případě ražby pomocí TBM těžce přístupná. Detailní znalost poměrů před čelbou vede ke snížení rizik spojených s ražbou, která se mohou projevit neočekávaným prodloužením výstavby či razantně zvýšenými náklady na výstavbu tunelového objektu. Klíčová je znalost geotechnických poměrů při ražbě pomocí tunelovacího stroje, jelikož mechanizovaná ražba je oproti ražbě konvenční velmi těžko adaptabilní. Obecně je možné říci, že pro ražbu pomocí tunelovacího stroje představuje velké riziko neočekávaná porucha, která může vést k blokaci stroje.

Železniční tunely větších délek se na evropském území navrhují téměř výhradně jako dvě jednokolejné tunelové trouby propojené z bezpečnostních důvodů spojovacími chodbami - tzv. propojkami, ty se zásadně razí metodou NRTM. Maximální délka mezi propojkami je do 500 m. Hlavními důvody pro opakované používání tohoto řešení jsou, spolu s důvody zajišťování bezpečnosti při havarijních situacích, také rizika vzduchových nárazů protijedoucích vlakových souprav. Především evropské požadavky na provádění ražeb a současné zřizování tybinkové konstrukce obezdívky dlouhých jednokolejných tunelů VRT vyvolaly v posledních desetiletích významné zdokonalování jejich téměř výlučného provádění s použitím velkoprofilových razících strojů. Výstavba dlouhých železničních tunelů VRT jako dvoukolejných se vůbec nenavrhuje. Rozhodujícím důvodem pro tento stav je požadavek vybudování souběžného obslužného tunelu nového profilu, jehož vybudování je na všech evropských státních územích shodně požadováno bezpečnostními složkami pro zajištění přístupu záchranářů k místu možné havárie v tunelu.

Jako ukazatel pro hodnocení potřeby času výstavby delších jednokolejných železničních tunelů VRT, v převážně skalních podmínkách ČR s použitím TBM, je možné z dosavadních evropských zkušeností odvodit běžně dosahované provádění ražby a souběžné zřizované tybinkové konstrukce tunelu délky 5 km za jeden rok. Celková doba výstavby tunelové části trasy VRT délky 20 km by pak měla být dosažitelná za období 5 - 7 let. Součet ploch příčného řezu dvou jednokolejných tunelů trasy VRT prováděných TBM je průměrně o 30 % větší, nežli plocha příčného řezu dvoukolejného tunelu VRT

prováděného metodou NRTM. Ukazatelová cena provedení ražby a dodávky stavební konstrukce dvou jednokolejných tunelů VRT prováděných TBM by se proto měla pohybovat na úrovni do cca 1 000 000 Kč za běžný metr trasy tunelu bez DPH.

Nejlepším příkladem použití TBM při výstavbě dlouhých železničních tunelů je nedávno zprovozněný doposud na světě nejdelší tunel Gotthard ve Švýcarsku, v Rakousku dokončená ražba tunelu Koralmbahn, probíhající výstavba nového železničního tunelu pod průsmykem Brenner mezi Rakouskem a Itálií. U nás byl nedávno použit stroj TBM při výstavbě Ejrovických tunelů

2.2.1 Rozdělení strojů TBM

Tunelovací stroje se dělí různými způsoby, přesto však oficiální přístup v ČR je přebrání dělení strojů dle doporučení z Německa dle DAUB (Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen). Shrnutí základního dělení strojů:

- plnoprofilové tunelovací stroje - TBM, pro ražbu v pevných skalních horninách
- štíty - SM, pro ražbu v rozrušených horninách a zeminách
- speciální formy (teleskopický štít, kloubový štít atd.)
- TBM pak může být vybaveno štítem - TBM-S (s jednoduchým či dvojitým štítem).

Ze štítů jsou pro nás zajímavé zejména stroje s plnoprofilovým pobíráním na čelbě. Jejich další rozdělení je pak závislé na způsobu podpory čelby:

- bez podpory - SM-V1
- s mechanickou podporou na čelbě - SM-V2
- s podporou pomocí přetlakového vzduchu - SM-V3
- s kapalinovou podporou čelby - SM-V4
- čelba je podporována zeminovým tlakem - SM-V5

Vhodnost nasazení tunelovacích strojů se odvíjí od předpokládaných nákladů na výstavbu tunelu a podle požadované doby výstavby, kterou je třeba dodržet. Pro ekonomické nasazení tunelovacího stroje je potřebná určitá minimální délka raženého tunelu a také případná následná možnost opakovaného použití tunelovacího stroje na dalších projektech. Není možné přesně stanovit minimální délku tunelu, od kdy se využití tunelovacího stroje vyplatí. Je však možné říci, že většinou v závislosti na průměru je jeho nasazení smysluplné od

délky tunelu min. 2 km. Pořízení tunelovacího stroje představuje značně velkou investici, musí být tedy dopředu známy následující parametry:

- těžitelnost horniny
- jak bude zapřen TBM v masivu
- pevnost a přetvárnost masivu

Pro minimalizaci rizika je nutné tyto aspekty vyhodnotit podél celé trasy. Z těchto výsledků nutno vyjít při návrh celého stroje včetně jeho návěsných systémů.

Tunelovací stroje TBM (Gripper) jsou vhodné do středně až hodně pevných hornin, které nevykazují moc velkou abrazivitu (čím nižší abrazivita, tím vyšší může být pevnost horniny), aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení řezných nástrojů. Toto nebezpečí hrozí zejména v horninách s velkým obsahem křemene. Je potřeba uvažovat se strojem s přístupem do hlavy či s nějakou vylepšenou možností stabilizace před čelbou

U TBM-S (stroje s pláštěm - jednoduchým nebo dvojitým) se nejčastěji jako ostění používají tybinky. Tybinky jsou na místo ukládány pomocí erektoru. Celý proces se odehrává pod ochranou štítu, což přispívá k bezpečnosti pracovníků (snižuje psychický tlak na personál a zvyšuje tak jejich výkony). Ostění z tybinků je výhodné kvůli vysoké mechanizaci jejich výroby a rychlosti ukládání. Další předností je její neměnnost v čase i v rozdílných geologických podmínkách, mění se stupeň vyztužení dílců, ne geometrie. Po osazení tybinků a následnému vyplnění mezery mezi masivem a segmentovým ostěním injektážní hmotou dojde k aktivaci prstence ostění.

Tyto stroje se využívají ve středně dobrých podmínkách ražby, kde jsou vyžadována stabilizační opatření ihned za čelbou a podél trasy, kde je možné očekávat poruchové zóny.

U štítů se setkáváme s dvěma hlavními typy řezných hlav:

- uzavřená - podobná řezným hlavám do skalních hornin, používá se v případě možného výskytu tvrdých hornin v prostoru ražby - hlavně valounů
- paprsková - její profil je redukován pouze do paprsků, jejichž šířka je nadimenzována podle konkrétních geologických podmínek, setkáváme se s ní při ražbě v zeminách, kde se neočekávají tvrdé horniny

Řezná hlava pak bývá nejčastěji vybavena dláty pro „loupání“ zeminového podloží, pokud však stroj razí tunel i přes tvrdší horninové vrstvy, je možné na řezací hlavě nasadit disky. Ráfek řezací hlavy pak přesahuje její obvod cca o 2 cm, aby se tak zabránilo zaseknutí stroje a poškození strojového pláště valouny. Řezná hlava je na stroji kloubově uložena, aby ji bylo možno vychylovat mimo průřez zbytku stroje. Toto opatření je zaváděno také k zamezení poškození stroje valouny, které jen částečně zasahují do raženého průřezu.

Samotné uložení a pohon řezné hlavy může být uložen na třech rozdílných místech. Každá z těchto možností má své výhody i nevýhody, volí se podle očekávaných geologických podmínek:

- klasicky ve středu - lehké zaizolování, dobré směrové vedení
- po obvodu - vysoký točivý moment, složité zaizolování, špatné směrové vedení
- bezstředové kompaktní uložení a pohon - kompromis prvních dvou možností

Zaizolování pohonných jednotek je potřeba zejména v případě zeminových štítů věnovat velkou pozornost, protože u nich dosahují tlaky v prostoru čelby vysokých hodnot.

2.2.2 Rychlost ražby strojem

Pro posuzování rychlosti ražby strojem (různých typů) je velmi často využívána metoda dle horninové klasifikace QTBM.

Klasifikace QTBM byla vyvinuta (Nickem Bartonem) pro posuzování rychlosti ražby pomocí tunelovacích strojů. Klasifikace zohledňuje interakci komplexu stroj - hornina. Je možné ji využít jak pro TBM bez štítu, tak i se štítem. Je nutno upozornit, že v méně stabilních horninách udává pesimističtější výsledky, než jakých byl schopen dosáhnout ve skutečnosti stroj vybavený štítem. Klasifikace vychází z analýzy 145 tunelů a celkového počtu ražeb přesahujících 1000 km. Barton tuto klasifikaci odvodil z klasifikace Q, kterou rozšířil o vlivy spojené s nasazením TBM. Na základě velikosti penetrace horniny strojem a faktoru pro redukci rychlosti ražby je pro konkrétní úsek určena doba potřebná pro jeho vyražení.

Přepočet mezi hodnotou dle klasifikace RMR a Q byl proveden podle empirického vztahu doporučeného Bartonem.

- Parametr Q (zahrnuje: RQD, počet systémů diskontinuit, drsnost diskontinuit, stupeň zvětrání diskontinuit a jejich výplň, přítok podzemní vody a podmínky napjatosti)
- Pevnost horniny v jednoosém tlaku - σ_c
- Index životnosti řezných nástrojů - CLI
- Obsah křemene
- Pórovitost horniny
- Objemovou hmotnost horniny
- Průměr výrubu

2.2.3 Stavební jámy pro tunely TBM - vybavení pro start ražby

Pro započetí ražby TBM je nutné do stavební jámy instalovat konstrukci, o kterou se stroj může v počátcích ražby opřít. U štítů je příprava startovní pozice značně jednodušší než u gripperů, protože posuvné lisy se nacházejí u štítů v zadní části, posunují se podélným směrem a nemusí se příčně rozpírat do horninového masivu.

Opěrná konstrukce může být vystavěna dvěma následujícími způsoby:

- Instaluje se slepý tybink, který je podepřen železobetonovým trámem, trám je pak pomocí svorníků ukotven do masivu
- Instalace slepého tybinku, který je podepřen ocelovou příhradovou konstrukcí, podélné síly jsou pak odváděny do základové konstrukce

Slepé tybinky jsou dohromady sešroubovávány.

Pokud se v podloží startovací jámy nachází neúnosné podloží je třeba pod štítem vybudovat betonový blok, aby nedošlo k prolomení základové půdy nebo k nadměrnému sedání.

Betonový základový blok může být nahrazen ocelovými saněmi, které je možné přemísťovat/používat opakovaně.

V případě, že se bude razit pod hladinou podzemní vody, je vyžadována další speciální konstrukce již ve stavební jámě. Nejčastěji se v jámě postaví betonový blok, do kterého se stroj sám prorazí a vytvoří si v něm tlakovou podporu čelby. Tento postup je nutný, aby do stavební jámy nevnikla voda či zemina.

2.2.4 Příklad zařízení staveniště

Zařízení staveniště je umístěno, pokud je to možné, vždy u portálových jam. V případě ražby strojem TBM je hlavní zařízení staveniště u tzv. startovacího portálu čili na straně tunelu, kde je započata ražba.

Plocha hlavního staveniště musí být dostatečná pro umístění zařízení pro provoz ražby strojem. Vhodná plocha zařízení se pohybuje kolem výměry 10 000 - 12 000 m². Mezi základní prvky staveniště patří:

- Sestava mobilních kontejnerů (kanceláře stavby a zázemí pro lidi na stavbě), cca 30-35 kusů + 1 kontejner pro ostrahu
- Hala údržby stroje TBM (plocha min. 30 x 15 m)
- Sklady náhradních dílů TBM (dle typu stroje, cca 3 ks kontejnerových skladů)
- Sklad tlakových lahví - otevřený sklad 1,5 x 1,5 m
- Míchací centrum pro provádění výroby injektážní směsi tybinků
- Lampovna - ta je v jámě u čelní stěny portálu
- Sklad maziv a olejů - kontejner půdorysně 6 x 2,5 m
- Trafostanice 1000 kVA/22/0,4 kV - 2 ks
- Trafostanice 630 kVA/22/0,4 kV - 1 ks
- Rozpínací stanice - 1 ks
- Ventilátor separátního větrání v tunelu (dle projektu větrání)
- Chladicí jednotka TBM - 1 kontejner 12 x 2,5 m
- vodní a odpadové hospodářství, ČOV

Tato plocha musí být vhodně napojena přístupovými komunikacemi pro pohyb mechanizace a strojů. Dále je nutno dbát připojení zařízení staveniště na dostatečně kapacitní zdroj užitkové vody (výhodně např. z řeky) a pitné vody (vodovod). Nutností je připojení na rozvodnou vnější síť. Kabelový rozvod pro silnoproud je o napětí 22 kV a slaboproudé rozvody spolu s připojením na internet jsou samozřejmostí.

Sklad rubaniny nemusí být nutně v blízkosti zařízení staveniště. Zde může být jen mezideponie pro nejnutnější úpravu a dočasného uskladnění rubaniny (pro rychlé rozpojování a využití rubaniny jako pažícího média uzavřené čelby jsou používány pro tyto účely polymery, takto upravená rubanina nelze skladovat bez dalších úprav).

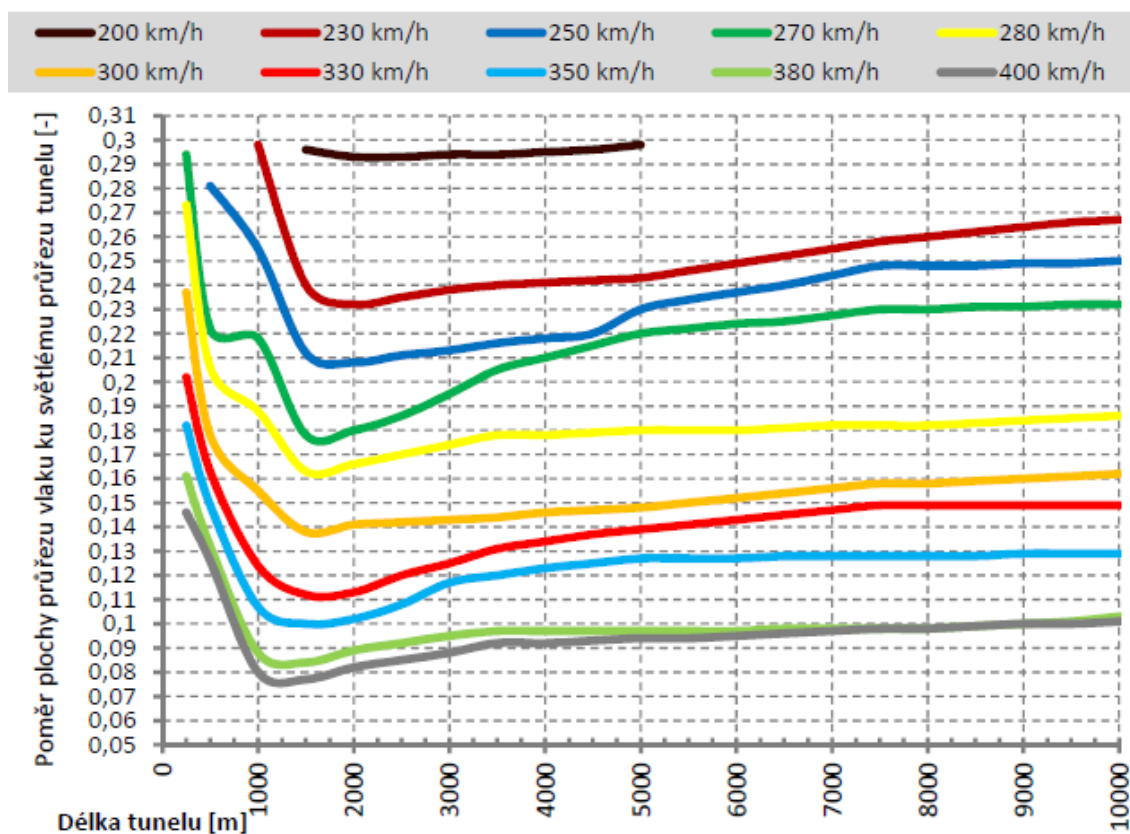
Velkou roli hraje ochrana životního prostředí a BOZP, v případě tunelů v zastavěném území přísné hygienické limity (hluk, prach apod.).

3 Světlý tunelový průřez

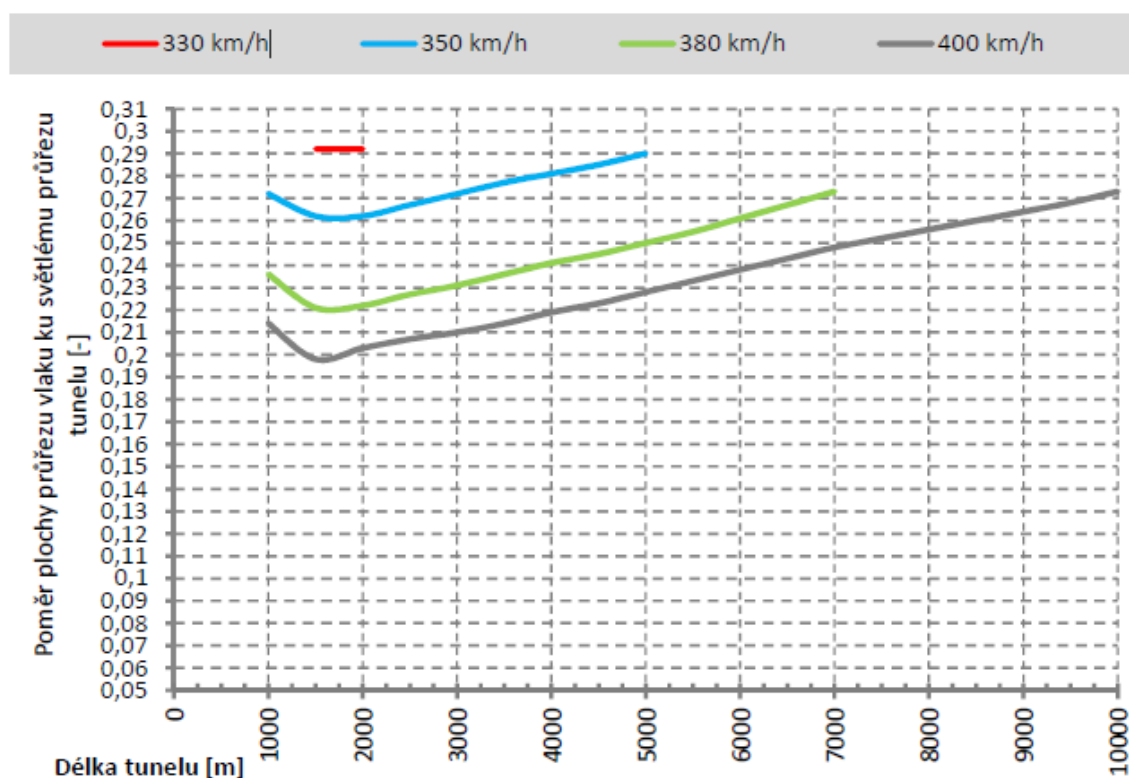
Problematika navrhování průřezových profilů tunelů VRT byla podrobně zpracována v předcházejících etapách projektování studie proveditelnosti. Doporučení a závěry ze studií jsou všeobecně platné pro návrh tunelů VRT.

V ČR jsme doposud zvyklí používat při návrhu tunelů vzorové příčné profily s předem daným světlym tunelovým průřezem. Tento přístup je aplikovaný také například v Německu (Ril 853), kde je však vzorový příčný řez definovaný pouze do rychlosti 300 km/h. Jiné evropské země preferují návrh pro každý jednotlivý případ (Francie, Španělsko).

Požadovaný světlý tunelový průřez lze vyjádřit poměrem mezi plochou průřezu vlaku a plochou průřezu samotného tunelu. Pro potřeby výpočtů odporů apod. se uvažuje s průřezem vlaků 10-12 m². Poměr ploch 0,1 tak znamená, že tunelový průřez pro vlak s plochou 12 m² musí být 120 m². Orientační velikosti průřezu tunelu v závislosti na rychlosti (vyjádřené poměrem světlého tunelového průřezu a průřezu vozidla) je možné odečíst z grafů na následující stránce. Výstupy grafu splňují požadavky na maximální kolísání tlaku v tunelu 10 kPa.



Obrázek 1 Poměr ploch 2K tunelu pro rychlosti 200-400 km/h a délku vlaku 400 m [zdroj: Technickoprovozní studie (Sudop, 05/2017)]



Obrázek 2 Poměr ploch 1K tunelu pro rychlosti 200-400 km/h a délku vlaku 400 m [zdroj: Technickoprovozní studie (Sudop, 05/2017)]

Je patrné, že velikost požadovaného návrhového profilu může kolísat v rozmezí $\pm 20\%$ v závislosti na délce tunelu, což při již tak velkých průřezech může vést ke zbytečnému nárůstu nákladů. Neznamená to však automaticky, že čím delší tunel, tím větší průřez.

Pro rychlosti vyšší než 300 km/h nejsou v žádné ze zemí s provozem VRT součástí platné normativní základny vzorové listy nebo výkresy pro světlý líc tunelového průřezu. Při těchto rychlostech vzrůstá vliv délky tunelu na příčný řez, který je nutný pro dodržení „kritérií tlakové pohody“ (termín dle ČSN EN 14067-5+A1). Tunely nad tuto rychlost je doporučeno vždy posuzovat individuálně.

Světlý tunelový průřez pro rychlost 300 km/h používaný v Německu a převzatý do ČR tak vyhovuje všem délkám. Nejhorším případem je „kritická délka tunelu“, která se pohybuje okolo 1 500 - 1 700 m. Při všech jiných délkách budou aerodynamické poměry příznivější. Zároveň pro určité délky tunelů by průřez mohl teoreticky být i menší. Například ve Španělsku je uvažováno jako minimum 85 m².

Pro návrhové rychlosti do 300 km/h je možné využívat vzorových příčných profilů, neboť absolutní hodnota nárůstu potřebných kubatur je akceptovatelná. Při vyšších rychlostech i průřezech už může být zbytečné dimenzování na nejhorší stav (kritickou délku tunelu) ekonomicky neefektivní.

Navrhujeme ve stávajících vzorových listech ponechat v platnosti profil určený pro rychlost do 160 km/h. U těchto průřezů doporučujeme prověřit jejich využitelnost i pro rychlost do 200 km/h a stanovit tak jasnou hranici pro využití vzorových listů pro konvenční železnici. Použitelnost profilu pro rychlost do 200 km/h je potřeba prověřit zejména u dvoukolejných tunelů, kde je velikost tunelu ovlivněna také osovou vzdáleností kolejí.

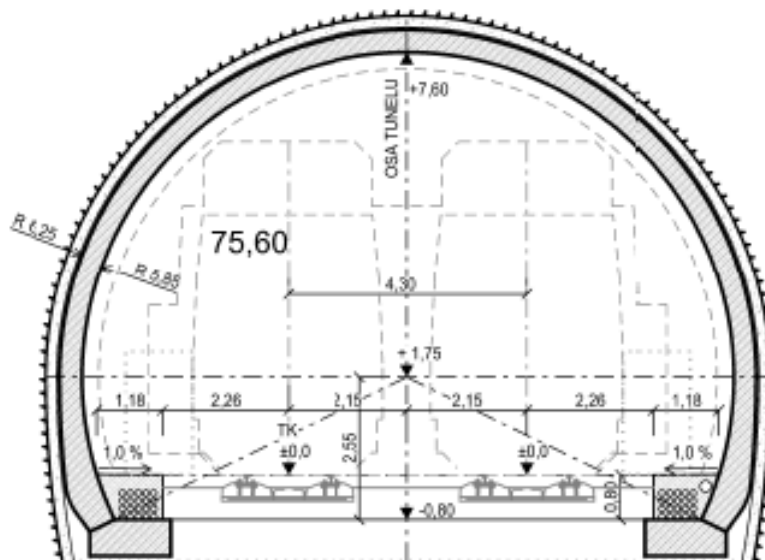
V rozmezí rychlostí 200-300 km/h považujeme za vhodné umožnit individuální řešení světlého tunelového průřezu v závislosti na předpokládaném dalším vývoji návrhové rychlosti dané trati (traťového úseku) a provedeném finančním vyhodnocení daného projektu. Zde je nutné přistupovat k návrhu s určitou velkorysostí s ohledem na návrhovou dobu životnosti tunelových objektů.

U rychlostí vyšších než 300 km/h jednoznačně doporučujeme provádět vždy návrh požadovaného (doporučeného) světlého tunelového průřezu pro konkrétní tunel v závislosti na místních podmínkách a technickoekonomickém zhodnocení daného případu."

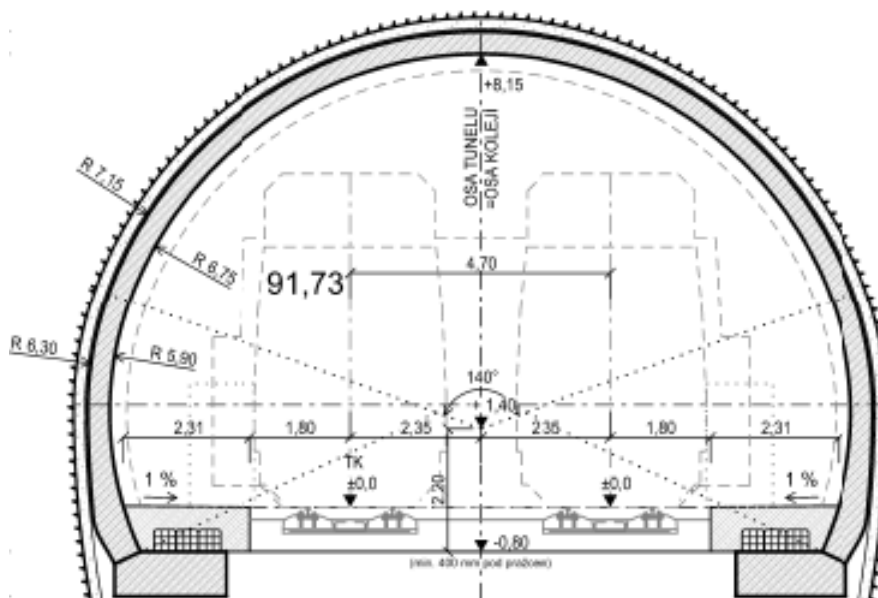
Vysokorychlostní trať v tunelu vyžaduje specifické studie pro zajištění sluchového (zvukového) komfortu hlukové bezpečnosti z důvodů aerodynamických účinků (tlakové vlny). Vyhovujícího komfortu při průjezdu vlakových souprav tunelem je nutné posoudit aerodynamickými výpočty.

Na portálech tunelů s návrhovou rychlostí od 300 km/h se navrhuje a realizují speciálně tvarově upravené portálové konstrukce, které omezují aerodynamické vlivy a účinky (odrážení tlakové vlny, sonický třesk atd.) projíždějících vlakových souprav.

3.1.3 Konvenční ražba (NRTM), 2-kolejný tunel



Obrázek 7 Vzorový příčný řez pro 2-K tunelu pro $V \leq 200$ km/h, NRTM



Obrázek 8 Vzorový příčný řez pro 2-K tunelu pro $V \leq 300$ km/h, NRTM

4 Bezpečnostní řešení tunelů

Základní požadavky na bezpečnostní řešení tunelů jsou dány technickými specifikacemi interoperability subsystému SRT Bezpečnost v tunelech (TSI SRT). Tyto požadavky, principy musí být splněny bez ohledu na návrhovou rychlost železniční trati pocházející tunelem. Samotný železniční tunel je prostorem s minimálním rizikem vzniku požáru. Je to dáno výskytem minimálního množství hořlavých hmot. Nebezpečí požáru představuje vlaková souprava, která tunelem projíždí nebo zastaví. Pravděpodobnost požáru vlakové soupravy závisí na druhu přepravy. U osobní přepravy má pravděpodobnost vzniku požáru v prostoru železničního tunelu velmi nízké hodnoty a řada postupů hodnocení požárního rizika prostřednictvím pravděpodobnostní hodnocení požáru tuto problematiku neřeší. Postupy definované v Purple book¹ řeší riziko na železnici například pro přepravní cisterny a železniční cisterny, a to pod zvýšeným a atmosférickým tlakem. Podle postupu² závisí odhad pravděpodobnosti vzniku velké havárie při přepravě po železnici na faktorech:

- druhu přepravované látky
- na hustotě přepravy,
- na vlivu směru větru s ohledem na polohu obydlených oblastí.
- na bezpečnostních podmínkách přepravy

Po zjištění frekvence události závisí přijatelnost rizika na poloze zjištěných hodnot ve vyhodnocovacím diagramu. Zde platí, že pravděpodobnost nižší než 10^{-7} za rok je vždy v oblasti přijatelného rizika, pravděpodobnost menší než 10^{-3} za rok je vždy v oblasti nepřijatelného rizika. Interval mezi oběma hodnotami je oblast, kde lze určit jak přijatelné, tak nepřijatelné riziko a také oblast snižování rizika. V podmínkách České republiky lze stanovit pravděpodobnost vzniku požáru vlakové soupravy v tunelu na základě údajů z četnosti požárů na kolejových vozidlech vedené ve statistikách z minulých let. V současné době s ohledem na délku železničních tunelů a fakt, že vlakové soupravy podle provozních pravidel v tunelu nezastavují, je požár vlakové soupravy v tunelu podmíněn jejím zastavením na základě poruchy. To hodnotu pravděpodobnosti požáru vlakové soupravy, která zastaví s tunelem, snižuje. Požární bezpečnost v provedení stavby železničních tunelů a požadavky na vybavení v podmínkách České republiky vycházejí z pravidel TSI. Tyto požadavky lze detailněji řešit podle ustanovení formulovaných v národních normách řady ČSN 7308., které jsou zaměřené na požární bezpečnost staveb a dalších normách a předpisech. Požadavky z pohledu požární bezpečnosti také řeší národní norma ČSN 73 7508 – Železniční tunely. Tento národní předpis má ve svém předmětu stanoveno, že platí pro projektování a stavbu tunelů na drahách o normálním rozchodu a traťovou rychlost do 160 km. Tato norma nevylučuje použití jiných postupů, pokud jsou věcně a odborně zdůvodněny. Postupy musí mít potřebnou odbornou úroveň a nesmí být v rozporu se zásadami normy. Při řešení požární bezpečnosti staveb lze v současné době uplatnit také tzv. inženýrský přístup, který formuluje odlišný postup proti ustanovením norem při dodržení stejné úrovně bezpečnosti.

Základní požadavky na požární bezpečnost železničních tunelů stanovuje TSI. Ta považuje za tunel vyhloubený prostor nebo stavbu obklopující trať, která má železnici, umožnit překonání např. vyvýšenin, budov nebo vody. V kontextu této TSI je tunel dlouhý 0,1 km nebo delší. Požadavky na požární bezpečnost jsou definovány zejména pro tunely delší než 1 km, některá ustanovení platí pro tunely delší než 0,5 km a některá ustanovení jsou předepsána pro tunely všech délek. Dva či více než dva po sobě jdoucí tunely jsou považovány za jediný tunel, pokud rozstup mezi tunely na volném prostranství není delší než maximální délka vlakové soupravy, která má být na dané trase provozována, prodloužená o 100 m. Dále volné prostranství a situace v okolí železniční tratě v rozestupu mezi tunely musí umožnit cestujícím, aby se bezpečně vzdálili od vlakové soupravy. Bezpečný prostor musí pojmut všechny cestující, kteří cestují při maximální kapacitě vlaku, jenž má být na dané trase provozován.

5 Návrh tunelových staveb po trase

5.1 Výjezd z Prahy

Pro výjezd železničních vlakových spojů po VRT (RS4) ze železničního uzlu Praha (ŽUP) směrem na sever bylo uvažováno se dvěma variantami tras od přemostění na Balabance.

První návrh nové trasy předpokládal průjezd modernizovanou ŽST Praha Vysočany, za kterou směrem na východ měl být vybudován rozplet železničních tratí směrem Lysá nad Labem/Neratovice a na sever směrem na Litoměřice/Lovosice a dále Ústí nad Labem. Trať vedoucí na sever bylo nutné trasovat tunelem mezi Klíčovem a Prosekem, označovaným jako Prosecký (příp. Klíčovský). Navržen byl Prosecký tunel délky cca 4,300 km. Tato délka je již vhodná pro ražbu TBM a z tohoto důvodu byl tunel navržen jako 2 jednokolejné tunelové tubusy, vzájemně propojené spojovacími chodbami. Poměrně značnou nevýhodou tohoto návrhu trasy byl samotný rozplet tratí na vjezdovém (jižní) portálu tunelu, který by byl technicky, konstrukčně a stavebně extrémně náročný a pravděpodobně velmi obtížně realizovatelný se značnými finančními náklady na stavbu. Železniční rozplet byl částečně umístěn do podzemí (tunelu), kdy z dvoukolejné trati na Ústí nad Labem odbočuje jedna kolej na Lysou nad Labem. V tomto konkrétním místě se jedná o 3 kolejný úsek v tunelu, jehož realizovatelnost by byla extrémně náročná. Ze stavebně technického hlediska je toto navrhované řešení trasy nevhodné a bylo rozhodnuto a opuštění této varianty trasy.

Druhý návrh varianty trasy neuvažuje s průjezdem ŽST Praha Vysočany. Trasa RS4 vede od mostů na Balabance severním směrem, kde se zahlubuje do Střížkovského tunelu délky 4,200 km. Vzhledem k délce tunelu není úplně jednoznačné, zda bude vhodnější metoda výstavby TBM nebo NRTM příp. jinou metodou. Obě možnosti mají své výhody technického řešení a zároveň i svá negativa. Základní principy těchto metod jsou popsány v předchozí kapitole 2.

5.1.1 Střížkovský tunel

- dva jednokolejné tunely ražené TBM
- celková délka: 2 x 4 200 km (hloubené části: 100+270 m, ražená část: 3 830 m)
- $V_n = 250$ km/hod (cca 2/3 délky) a $V_n = 180$ km/h cca 1/3 délky
- vedení v intravilánu (městská zeleň, stanice metra Prosek, RD, sídliště - výškové budovy, pole, městský silniční okruh, silnice, městské komunikace)
- max. výška nadloží: 69 m

Navrhovaný tunel na nové železniční trati propojuje oblast Balabenky, kde je umístěn vjezdový (jižní) portál a oblast Ďáblic dále na severu. Výjezdový (severní) portál je situován na východní straně dálnice D8 (ul. Cínovecká), v blízkosti křižovatky s ulicí Kosteleckou. Staničení tunelu km 5,600 až km 9,800. V tunelu dochází ke změně v návrhové rychlosti ze 180 km/h na 250 km/hod ve staničení km 6,900, což je přibližně v 1/3 jeho délky směrem od portálu Balabanka. Celková délka tunelu je 4 200m, předpokládaná délka ražeb 3 830m. Ražbu tunelu je vhodné řešit směrem od Ďáblic k Balabance. Vzhledem k délce raženého úseku je vhodné nasazení stroje TBM, a tedy vyrazit 2 jednokolejné paralelní tubusy propojené spojovacími (záchrannými) chodbami. Maximální vzdálenost mezi spojovacími chodbami je maximálně do 500 m. Navrhujeme světlý profil tunelu $R = 4,70$ m pro rychlost $V_n > 230$ km/hod. Tento profil je možné dále upravit a optimalizovat na základě dalších požadavků nebo např. aerodynamických výpočtů, které zohlední návrhové rychlosti, provoz předpokládaných souprav při splnění hygienických akustických limitů a komfortu cestujících.

Vjezdový (jižní) portál tunel je umístěn v nezastavěné oblasti severně od stávající žel. trati 231, severně od Balabenky, v místní lokalitě zvané Kolčavka. Vzhledem k umístění portálu v oblasti městské zeleně mimo zástavbu, bude tento portál obtížně a komplikovaně přístupný. Terénní profil z Balabenky směr Prosek je však poměrně nepříznivý ke stavbě velké stavební jámy pro start TBM. Je proto vhodné zde pouze rozebrat reznou hlavu stroje a vlastní štít tunelem protáhnout zpět do Ďáblic, kde bude přesunut a opětovně zkompletován pro ražbu druhé roury.

Oblast severního portálu je lokalizována v plochem terénu, v souběhu s dálnicí D8. Severní portál je vhodný pro umístění hlavního zařízení stavby, odkud by mohla probíhat ražba TBM úpadně k jižnímu portálu Balabenka. Lokalita severního portálu je dobře dostupná a připojitelná na komunikační síť.

Tunel neobsahuje žádné rozplety/odbočky. Z hlediska rizik stavby se jeví nejkomplikovaněji výstavba portálu Balabenka, kdy se trasa nachází v nyní zalesněném svahu. Z pozitivního úhlu pohledu se však jedná o nezastavěnou oblast svahu. Část portálu bude muset být řešena masivním odřezem a zajištěním poměrně vysokého svahu. Svah je tvořen paleozoickými letenskými vrstvami jílovitých břidlic a střídáním drob, pískovců a prachovců. K přechodu do křídové tabule dochází přibližně na úrovni sídliště Prosek, kde se nacházejí zpevněné sedimenty písčitých slínovců.

Varianta výstavby tunelu metodou NRTM

Střížkovský tunel může být variantně řešen jako jeden dvoukolejný tunel, ražený metodou NRTM. Toto variantní řešení výstavby tunelu přináší řadu menších úprav trasy v této oblasti oproti předchozí variantě dvou jednokolejných tunelů jako je např. úprava osové vzdálenosti kolejí a s tím související další úpravy, bude nutné upravit světlý tunelový průřez na dvoukolejný atd. Poloha vjezdového a výjezdového portálu tunelu se prakticky nezmění případně jen minimálně. Návrhové parametry zůstávají shodné. Výstavba tohoto tunelu pomocí jedné nebo druhé metoda je možná a realizovatelná.

5.2 Středočeský kraj

5.2.1 Líbeznický tunel

- hloubený dvoukolejný tunel
- celková délka: 2 700 m
- $V_n = 250 \text{ km/h}$
- vedení v extravilánu (pole)

Navrhovaný tunel se nachází v nezastavěné oblasti mezi obcemi Hovorčovice, Bořanovice, Měšice a Líbeznice. Pokud by se jednalo o novostavbu běžné trati, pravděpodobným řešením by byl zářez, byť v některých místech poměrně hluboký (cca 19 m). Vzhledem k nedaleké zástavbě místních obcí a možné hlukové zátěži je v tomto úseku km 13,000 až km 15,700 navržen dvoukolejný hloubený tunel. Konstrukce tunelu bude po výstavbě zasypána a terén upraven do původního stavu.

Tunel je navržen jako železobetonová konstrukce budovaná v otevřené zajištěné stavební jámě, celková délka tunelu 2 700 m. Návrhová rychlost pro tunel 250 km/hod.

Vjezdový portál je umístěn v katastru obce Bořanovice, ale je situován v blízkosti obce Hovorčovice. Přístup na portál pro stavební techniku a stroje bude nutné vybudovat pravděpodobně od silnice II/243 (Mělnická). Vzhledem ke vzdálenosti cca 400 m od nejbližších obytných objektů obce Hovorčovice, je zde možné situovat zařízení staveniště.

Výjezdový portál je situován mezi obcemi Líbeznice a Měšice, v blízkosti komunikace Nádražní, spojující obci Líbeznice a silnici II/244. Z této komunikace je vhodné vybudovat přístup na stavbu a také je zde prostor pro rozvinutí zařízení staveniště.

5.2.2 Ledčický tunel

- hloubený dvoukolejný tunel
- celková délka: 1 200 m
- $V_n = 320 \text{ km/h}$
- vedení v extravilánu i intravilánu obce (pole, komunikace, obytné stavby na výjezdovém portálu)

Navržený tunel se nachází ve staničení km 36,800 – 38,000 převážně v nezastavěné oblasti jižně od obce Ledčice, malou částí se nachází v severní části katastru obce Nová Ves (výjezdový portál). Tunel je veden v souběhu s dálnicí D8, při východní straně. Tunel je navržen jako dvoukolejný hloubený, železobetonové konstrukce, budovaný v otevřené stavební jámě.

Celková délka tunelu je 1200 m. Návrhová rychlost pro tunel v této části železniční trati je 320 km/h.

Výjezdový (jižní) portál tunelu je umístěn na úbočí místního vrcholu Škarechov, na hranici katastrálních území obcí Ledčice a Nová Ves, resp. v severním cípu katastru obce Nová Ves, v blízkosti místních (účelových) komunikací a přemostění dálnice D8. Přístup na portál a případně staveniště je možný po úpravě těchto účelových po potřeby stavby. Vzhledem k odlehlosti místa od okolních obcí je zde vhodné umístit hlavní zařízení staveniště.

Výjezdový (severní) portál tunelu je umístěn na západní straně obce Ledčice, v těsné blízkosti obytných domů. V přímé kolizi s výstavbou tunelu je objekt č. 210, přímo dotčené stavbou budou pravděpodobně další objekty. Přístup na portál bude omezeně možný po místních komunikacích. Vzhledem k poloze portálu tunelu bezprostředně v zastavěném území obce, není tato lokalita vhodná pro zařízení staveniště.

5.3 Ústecký kraj

V rámci zpracování studie byla prověřována variantní vedení nové železniční tratě RS4 po pravém břehu Labe v oblasti mezi ŽST Roudnice nad Labem VRT a Litoměřicemi resp. sjezdem na Litoměřice. Trasování v této oblasti je značně omezeno vzhledem k památkové zóně Terežína, kde není možné podobné stavby umístit s ohledem na trvalou změnu krajinného rázu. Dalším komplikovanou lokalitou je průchod přes Mrchový kopec. Tato oblast je v těsné blízkosti objektů Armády ČR (muniční sklady, dopadové plochy apod. a nedaleko se nachází také Měřický ústav AČR) a dále je významnou evropskou lokalitou pro některé organismy, blíže popsáno v části studie zabývající se vlivem na životní prostředí. Pro průchod tímto územím byly diskutovány dvě možnosti. Povrchově vedené železniční tratě v otevřeném zářezu (nebo zářezích) a podpovrchové vedení v tunelu. Povrchové vedení železniční tratě v zářezu je nepřijatelné z hlediska vlivu stavby na životní prostředí především tím, že by byla tato evropsky významná lokalita rozdělena na dvě oddělené (samostatné) části a tím by byla vyloučena migrace chráněných organismů. Umístění umělých staveb (např. Ekodukt, hloubený tunel apod.), které by tento problém mohlo částečně řešit, není možný vzhledem k těsné blízkosti muničních skladů a dalších objektů AČR. Jejich přesná poloha je ze strategických důvodů utajována. Se zástupci AČR bylo o návrhu vedení nové železniční trati RS 4 diskutováno a zástupci AČR toto vedení zamítají.

Další velmi komplikovaným místem vedení nové trasy RS4 bylo v navazujícím úseku přemostění řeky Labe u obce Počaply. V tomto prostoru měla vzniknout nad řekou Labe soustava mostních objektů ve třech výškových úrovních tak, aby se hlavní trasa zahlubila na protějším břehu Labe do masivu a zároveň byly vytvořeny sjezdy a odbočky na stávající železniční trať 072. Komplikovanost takto navrhované železniční křižovatky by byla velmi obtížně technicky řešitelná v další projektové přípravě, pravděpodobně nerealizovatelná.

Variantní řešení bylo nutné zpracovat také na výjezdovém portálu Středohorského tunelu, který vyúsťuje v Ústí nad Labem. Původně byla navržena varianta trasy se Středohorským tunelem, který ve městě Ústí nad Labem podcházal řeku Labe, severně od současného železničního mostu a pokračoval do podzemní části nově navrhované ŽST Ústí nad Labem Centrum. Podchod pod řekou by byl extrémně technicky, stavebně a finančně náročný, především kvůli nízkému nadloží mezi tunelem a dnem řeky Labe. Tunely následně pokračovaly do podzemní stanice. Nástupiště pro VRT byly navrženy pod okolním terénem (v úrovni -1) v rozsáhlé a poměrně hluboké stavební jámě. Tato stavební jáma by musela být vybudována v časovém předstihu před ražbou Středohorského tunelu, především z důvodu rekonstrukce a modernizace stávajícího nádraží Ústí nad Labem západ tak, aby při ražbě tunelu výstavba neovlivňovala nebo jen minimálně provoz ve stanici. Samotná stavební jáma prakticky uprostřed stávajícího nádraží, hluboká cca 30 m, přibližných rozměrů 400x40x30m

(d x š x h), pod hladinou podzemní vody, je velmi komplikovaná a stavebně značně nákladná a riziková.

Z důvodů popsaných výše a dále v dalších částech této studie bylo nutné najít jiné vedení trasy. Územně nejvhodnější, technicky a stavebně dobře koncipovaná byla navržena v této oblasti trasa vedení železniční trati s přemostěním za obcí Hrobce po pravém břehu řeky Labe a dvěma tunely – Záhořanský a Středohorský.

5.3.1 Záhořanský tunel

- ražený dvukolejný tunel NRTM
- celková délka: 840 m, (z toho ražených 460 m, hloubené části 390 m)
- $V_n = 250 \text{ km/h}$
- vedení v extravilánu i intravilánu obce (pole, komunikace, obytné stavby v jámě hloubeného tunelu)

Navrhovaný dvukolejný tunel se nachází ve východní části obce Křešice, Zahořany, západně od místního vrcholu Holého vrchu (302 m n.m.), v oblasti s minimální zástavbou. Tunel prochází východní částí Zahořan z jihovýchodu na sever, po západním výběžku Holého vrchu.

Celková délka tunelu je 840 m, staničení tunelu km 62,140 až 62,980. Délka raženého úseku dosahuje 460 m, hloubená části tunelu na vjezdu má 10 m a 380 m na výjezdu. Tunel bude ražen konvenční metodou (NRTM), podle dostupných podkladů se v oblasti vyskytují prokřemenělé jílovité vápence a slínovce a kvartérní hlinito-písčité sedimenty, spraše a další. Geologické prostředí bude dále upřesněno inženýrsko-geologickým průzkumem.

Vjezdový (jižní) portál tunelu je umístěn v jihozápadním úbočí Holého vrchu, v východní části obce Křešice, JV od Zahořany, severně od stávající železniční tratě 072. Přístup k portálu tunelu bude možný po vybudování nové přístupové komunikace odbočkou ze stávající komunikace 3.třídy III/24063 (Encovanská), případně rekonstrukcí místních stávajících komunikací. V této lokalitě je možné a vhodné vybudovat zařízení staveniště pro výstavbu tunelu, lokalita je dobře dostupná po pozemních komunikacích a po železnici. Portál tunelu se nachází cca 3,5 km od železniční stanice Polepy, která by mohla být po využití (po případné rekonstrukci) jako překladiště stavebního materiálu - odvoz rubaniny, návoz stavebních hmot apod. Nejbližší železniční stanicí je zastávka Křešice u Litoměřic, kde ale není v současné době potřebné kolejiště a pro zapojení případné stavební vlečkové koleje by bylo nutné zastávku kompletně přebudovat.

Výjezdový (severní) portál je umístěn v zemědělské půdě (pole) severní části obce Křešice - Zahořany, východně od Zahořanského zámku, jižně od Přírodní památky Stráně u Velkého Újezdu. Přístup k portálu tunelu bude nutné vybudovat, pravděpodobně od stávající pozemní komunikace III. třídy 26112 nebo 26111, příp. od místních komunikací, mimo stávající zástavbu. Tato lokalita není vhodná pro vybudování velkého staveniště, vzhledem k blízkosti centra Zahořan, Zahořanského zámku a Přírodní památky.

5.3.2 Středohorský tunel – opravit výjezdový portál, 2.variantní

- dva jednokolejné tunely ražené TBM
- celková délka: 2 x 17 350 m (hloubená část 100+250 m, ražená část 17 000 m)
- $V_n = 250 \text{ km/h}$
- vedení v extravilánu
- max. nadloží: cca 470 m

Tento tunel spojuje oblast Roudnice nad Labem, Litoměřice, Lovosice a Ústí nad Labem. V oblasti mezi železniční zastávkou Křešice u Litoměřic a ŽST Počaply je navržena odbočka a křížení železničních tratí s „pravobřežní“ stávající tratí č.072 Ústí nad Labem - Mělník. Tunel charakteristikou „úpatního tunelu“ délky 17,35 km je jasným kandidátem pro ražbu strojem TBM.

Vjezdový (jižní) portál je umístěn v severní části obce Křešice - Zahořany, v km 63,860, do svahu pod stávající silnicí 3. třídy III/26112, spojující obce Křešice Zahořany a Velký Újezd. K portálu bude dobrý přístup právě ze silnice 3. třídy. V této oblasti (mezi portály tunelů) bude pravděpodobně možné vybudovat zařízení staveniště, včetně startovací jámy pro TBM. Varianta ražeb tunelů z jižního portálu směrem do Ústí nad Labem se jeví výhodněji oproti variantě ražby opačným směrem tj. z Ústí nad Labem směrem do Křešic.

Výjezdový (severní) portál je umístěn do Ústí nad Labem, v části Střekov, na hranici (bývalé) průmyslové zóny, v místě severního zhlaví ŽST Ústí nad Labem - Střekov, ve staničení km 81,030. Výjezdový portál je dobře přístupný po železnici, prakticky je součástí dnešní ŽST. V této oblasti je omezené místo pro vybudování zázemí pro stavbu a zařízení staveniště, i když nějaké možnosti prostorového využití tato lokalita také umožňuje.

5.3.3 Krušnohorský tunel (česká část)

- dva jednokolejné tunely ražené převážně TBM, částečně NRTM/SCL
- celková délka v ČR 2x11 700 m, hloubená část 240 m, ražená část 11 460 m
- $V_n = 200 \text{ km/h}$
- vedení v extravilánu

Odbočka Chabařovice

- jednokolejný tunel ražený NRTM/SCL
- celková délka 1 260 m,
- $V_n = 200 \text{ km/h}$
- vedení v extravilánu

Trasa přeshraničního Krušnohorského tunelu byla koordinována a stabilizována s německou protistranou a jejími zástupci DB Netz. Výsledkem této vzájemné koordinace je umístění vjezdového portálu tunelu na české straně u obce Chlumec, místní části Stradov, v těsné blízkosti silnice I. třídy I/13, spojující města Teplice v Čechách a Děčín. Přesnější umístění portálu, tedy zda bude umístěn před silnicí nebo za silnicí, bude řešeno v další projektové přípravě.

Průjezdný profil, řešení o nasazení TBM (kterého typu apod.) bude navrženo ve spolupráci s německou stranou. Pro ražbu Krušnohorského tunelu bude použit jeden typ stroje o stejném razícím profilu.

Rozplety u Chabařovic a Stradova (tunelové odbočky) bude nicméně nezbytné vybudovat metodou NRTM/SCL, případně v hloubeném úseku. Vjezdový portál tunelu se nachází nedaleko ŽST Chabařovice, kterou by bylo možné/vhodné využít pro potřeby stavby (odvoz rubaniny, návoz stavebních materiálů apod.) a také zde vybudovat zařízení staveniště, případně v její blízkosti. Portál tunelu je také velmi dobře přístupný ze silnice I. třídy I/13.

Horniny (krystalinikum) v této části Krušných hor - svory a pararuly - budou tvořit vhodný materiál pro ražbu strojem TBM. Určitým problémem by mohly být tektonické poruchy masivu - krušnohorský zlom. Trasa je vedena v podstatě kolmo na průběh krušnohorského zlomu. Terciérní jíly podkrušnohorské pánve spolu s uhelnými slojemi jsou geotechnický oříšek. Mocnost jílu v těchto oblastech dosahují i přes 100 m. Budou vykazovat nestandardní chování - překonsolidaci (boční tlak v zemině může dosahovat několikanásobku tlaku svislého, záleží na tzv. stupni překonsolidace OCR).

Tunely v části NRTM/SCL by musely mít větší průměr než stroj TBM, aby přes ně bylo možno TBM transportovat, případně by se muselo realizovat napojení z povrchu pomocí šachty či úboční štolý při vhodném umístění - toto technicky komplikuje výstavbu.

Přesto, že se toto řešení ekonomicky zdá nevhodné na první pohled (tj. ražba NRTM/SCL tunelu kruhového profilu pro průjezd stroje, který dorazí z německé strany), má toto řešení i svoji obrovskou výhodu - právě kruhový profil tunelu je nejvíce odolný vůči „anomáliím“ v napěťově-deformačním chování překonsolidovaných jílu.

Samotné provedení protiražby z českého portálu za komunikací I/13 by bylo vhodné realizovat technologií SCL (Sprayed Concrete Lining), což je upravená technologie NRTM pro použití v terciérních tuhých jílech, velmi typických pro jílovou pánev krušnohorského lomu. V tomto případě se nepoužívají svorníky a nejedná se o observační metodu, neboť se profil rychle uzavírá (protiklenba se uzavírá do 1D profilu tunelu od čelby) a profil je oválný až kruhový, což je logický požadavek vzhledem k protiražbě vůči stroji TBM z německé strany Krušných hor.

6 Závěr

Zásadními přínosy mechanizovaných postupů výstavby tunelů jsou:

- zvýšení bezpečnosti pracovních procesů v podzemí,
- snížení vlivu ražeb na okolní prostředí,
- dosažení vyšších kvalitativních parametrů díla,
- zkrácení doby výstavby s efektem nižší celkové ceny podzemní stavby oproti konvenčním metodám ražení.
- klady klasického konvenčního postupu výstavby tunelu:
- nabyté cenné zkušenosti místních odborných firem s ražbou v „obdobném“ prostředí,
- observační metoda, větší flexibilita technologie výstavby, přizpůsobení se mimořádným geologickým podmínkám
- nižší počáteční náklady.

6.1 Doporučení pro další projektovou přípravu tunelů

Je potřeba nadále získávat další zpřesňující údaje pro vhodnou volbu technologie výstavby jednotlivých tunelových objektů, a to jak s ohledem na technickou stránku věci, tak i ekonomickou a logistickou (potřebná doba výstavby, prostorové možnosti apod.)!

Pro jednotlivé varianty tunelových úseků je potřeba provést komplexní analýzu geotechnických rizik, a to již ve fázi orientačního inženýrskogeologického (geologického) průzkumu. Ta bude podkladem pro další projektovou přípravu tunelů, zejména pro projekt inženýrskogeologického průzkumu pro DUR a dále pro získání objektivizovaných podkladů pro:

- optimalizaci tras jednotlivých tunelů – zpřesnění směrového i výškového vedení vybraných tras tunelů, s ohledem zejména umístění portálů, řešení kolejiště na portálech (přiblížení os kolejí – minimalizace hloubených částí s ohledem na zpřesnění geologie),
- volbu optimální technologie ražby (klasická/konvenční x strojní/mechanizovaná).
- Uvážít úpravu rychlostí v tunelech – návrh konstantní rychlosti či pouze v rozsahu použitelném pro stejný typ příčného profilu tunelu (návrh profilu v celé délce tunelu je jednotný a vychází z max. parametrů).
- Vyhodnotit/upřesnit technologii provádění ražeb jednotlivých tunelů – v případě variant mechanizované ražby navrhnout nutný/vhodný počet a typy tunelovacích strojů s ohledem na předpokládané geotechnické poměry a požadovanou dobu výstavby.

Zásadní pozornost bude třeba věnovat inženýrskogeologickému a geotechnickému průzkumu oblastí, ve kterých se uvažuje s vedením trasy. Při zadávání průzkumů je třeba si uvědomit, že zásadní projektová rozhodnutí týkající se liniových staveb (viz výše) se přijímají již ve fázi DUR. To znamená, že „předběžný průzkum“ musí dát odpovědi na všechny otázky, které se budou v této fázi projektové dokumentace řešit. Z toho vyplývá, že musí být, co se týče komplexnosti i podrobnosti již na úrovni standardního podrobného průzkumu. Požadované parametry pro volbu typu stroje TBM jsou uvedeny v Příloze č.1.

V souvislosti s vývojem podrobnějších (nových) znalostí a požadavků dotčených institucí (orgánů veřejné správy apod.) musí být dále konkretizováno technické řešení, zejména v závislosti na použitých provozních technologiích (vybavení, větrání apod.), požadovaném sledu postupu prací, schváleném požárně-bezpečnostním řešení atd. Samozřejmostí musí být zohlednění t.č. aktuálně platných norem a předpisů.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Poměr ploch 2K tunelu pro rychlosti 200-400 km/h a délku vlaku 400 m [zdroj: Technickoprovozní studie (Sudop, 05/2017)]	12
Obrázek 2 Poměr ploch 1K tunelu pro rychlosti 200-400 km/h a délku vlaku 400 m [zdroj: Technickoprovozní studie (Sudop, 05/2017)]	12
Obrázek 3 Vzorový příčný řez 1-K tunelu pro $V \leq 200$ km/h, TBM	14
Obrázek 4 Vzorový příčný řez 1-K tunelu pro $V \leq 300$ km/h, TBM	14
Obrázek 5 Vzorový příčný řez pro 1-K tunelu pro $V \leq 200$ km/h, NRTM.....	15
Obrázek 6 Vzorový příčný řez pro 1-K tunelu pro $V \leq 300$ km/h, NRTM.....	15
Obrázek 7 Vzorový příčný řez pro 2-K tunelu pro $V \leq 200$ km/h, NRTM.....	16
Obrázek 8 Vzorový příčný řez pro 2-K tunelu pro $V \leq 300$ km/h, NRTM.....	16

Správa železnic, státní organizace
Název organizační jednotky
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1

© 2020

Datum tisku
2020-12-10