

# TECHNICKÁ ZPRÁVA

<b>metr@stav</b>			
Akce:		<b>MODERNIZACE TRATI ROKYCANY - PLZEŇ TUNEL EJPOVICE : VARIANTA TBM</b>	
Objekt:		<b>RAŽENÁ ČÁST TUNEL HOMOLKA, TUNEL CHLUM SO 32-38-22, 32-38-23, SO 32-38-26, 32-38-27</b>	
Vypracoval:		<b>METROSTAV a.s. Koželužská 5, 180 00 Praha 8-Libeň</b>	
Číslo přílohy:	Měřítko:	Datum zpracování:	Datum oprav:
<b>1.0</b>		<b>KVĚTEN 2012</b>	

# **TECHNICKÁ ZPRÁVA**

## **VÝSTAVBA JEDNOKOLEJNÝCH EJPOVICKÝCH TUNELŮ PLNOPROFILOVÝM RAZÍCÍM ŠTÍTEM (VARIANTA TBM)**

### **OBSAH :**

*kap.*

- 1./ Popis návrhu variantního řešení**
- 2./ Inženýrsko-geologické podmínky výstavby**
- 3./ Metoda výstavby**
- 4./ Návrh technického řešení**
- 5./ Bezpečnost práce a ochrana zdraví**

### **Přílohy :**

**Posouzení aerodynamického vlivu na cestující v jednokolejném železničním tunelu**  
**Výsledek testu obsahu křemene ve spilitech**

## Úvod

Variantní metoda výstavby plnoprofilovým razícím štítem (skrácene TBM), předkládaná uchazečem, Metrostavem a.s. je podrobně popsána jako součást nabídky a souhrnně dokladovaná v technické dokumentaci s přílohami :

Technickou zprávou, grafickými přílohami (situací, podélnými řezy JTTT a STT, příčnými řezy v místech křížení tunelů se spojovacími chodbami, vzorovým příčným řezem a řezem porovnávající plochy a konstrukce tunelů raženého NRTM a TBM, návrhem konstrukce hloubené technologické šachty, statickými výpočty rozhodujících konstrukcí tunelového ostění a výkazy výměr.

kap.1./

### Popis návrhu variantního řešení

Výstavbu jednokolejných tunelů v masivech Homolka a Chlum je možné realizovat několika metodami. Jednou z možných variant je také postup ražeb pomocí plnoprofilového razícího štítu (dále varianta TBM), když tato je umožněna v celé délce ražených úseků, v jižním tunelu v ose koleje č.1 od km 95,910.00 do km 99,930.00 na délku 4.020 m a v severním tunelu v ose koleje č.2 od tm 60,00 do tm 4.110 na délku 4.050,0 m. Celkem varianta uvažuje s variantním postupem v délce 8.070 m.

### Popis trasy, koncepce výstavby

Dvoukolejná železniční trať bude v podzemí vedena ve dvou samostatných jednokolejných tunelech, když portálové části budou realizovány ve společných stavebních jámách. Stavební jáma, umístěna mezi tunely Homolka a Chlum, v depresi mezi oběma masivy nebude realizována, ražba tunelů pomocí TBM bude realizována v celé projektované délce stavební jámy (150,0 m). Následně se v prostoru trvalého záboru jámy umístí povrchový technologický objekt s přidruženými nástupními a záchrannými plochami pro jednotky Integrovaného záchranného systému s technologickou šachtou, výstavba které bude realizována pomocí převrtávaných svislých pilot.

Jednokolejné tunely budou ve shodě se Zadávacími podmínkami propojeny soustavou celkem osmi propojek ( pět v části tunelu pod masivem Homolky, jedna v podzemí u silnice Újezd - Bukovec a dvě pod masivem Chlumu, sloužících k úniku cestujících z požárem zasaženého tunelu do bezpečné zóny druhého tunelu, pro přístup jednotek HZS PK v době zásahu a také pro umístění technologických objektů (např. trafostanic) sloužících železniční dopravě.

Směrové vedení jižního tunelu je shodné se zadáním, trasa severního tunelu je odsunuta od koleje č.1 severně tak, že maximální osová vzdálenost tunelů dosahuje 48,0 m. Výškové vedení trasy je nezměněno s jednotným sklonem 8 ‰, železniční trať klesá ve směru staničení, t.j. od Rokycan do Plzně. Nadmořská výška na východním okraji, výstavbou podzemních objektů zasaženého území je cca 380 m n.m., na západním cca 340 m n.m. Terén nad tunelem v masivu Homolky se zvedá až na 417,0 m n.m., mezi staničením železniční tratě km 98,300 až 98,900 klesá terén až na 345 m n.m., protíná silnici z Újezda do Bukovce a nad tunelem v masivu Chlum stoupá až na 405,0 m n.m.

Většina území v nadloží tunelů je intenzivně využívána zemědělskou výrobou, pouze na západě (tunel Chlum) je lesní porost. Navrhovanou trasu přetínají celkem 3 silnice II. třídy, vedené výhradně z městské části Plzeň Újezd do oblastí severně a východně od plzeňské městské aglomerace. Nad trasou tunelu v masivu Chlum se nachází jediný objekt, bývalá rozhledna na Chlumu, když horninové nadloží nad tunelem dosahuje cca 60 m. V depresi mezi masivy Homolky a Chlumu přiléhá k trase tunelů souvislejší zástavba přízemních garáží.

### Charakteristika tunelů

Světlý tunelový průřez jednokolejných tunelů je navržen shodně pro oba jednokolejné tunely a je ve shodě se Vzorovým listem – Světlý tunelový průřez jednokolejného tunelu, schváleno č.j. S 65027/09 – OTH ze dne 17.2.2010 s účinností od 1.3.2010, příloha 10 – Mechanizovaná ražba – Geometrie – do 160 km/h, pevná jízdní dráha, převýšení 0-160 mm (bez odsazení). Pro doložení

vyhovujících parametrů i pro rychlost 200 km/h uchazeč přikládá Posouzení aerodynamického vlivu na cestující v uzavřeném dopravním vozidle při dosažení rychlosti 200 km/h, programem SEALTUN1.0, když tuto rychlost, výše uváděný Vzorový List neuvádí. Ve výpočtu se porovnává úroveň změn přetlaku a podtlaku na cestující při požadované traťové rychlosti s hodnotami, při kterých je v zahraničí povolen provoz bez ohrožení zdraví cestujících. Výsledkem je konstatování, že při dosažení cestovní rychlosti 200 km/h v jednokolejném tunelu o průměru  $R=4.350$  mm, nejsou cestující ohroženi žádným z nepříznivých aerodynamických vlivů – přetlakem nebo podtlakem a ani kombinací jejich účinků – součet hodnot přetlaku a podtlaku (viz přílohu č.1 TZ).

Typ tunelů	jednokolejné
Tvar tunelů	kruhové
Odsazení tunelové trouby	0 mm
Traťová rychlost	160 km/h, výhledově 200 km/h
Plocha světlého tunelového průřezu	50,759 m <sup>2</sup> v přímé a min. 50,435 m <sup>2</sup> v oblouku
Staničení portálů	JTT - vjezdový km 95,860 a ražený km 95,910 / km 99,930 ražený a km 100,00 výjezdový STT - vjezdový tm 0,0 a ražený tm 60,0 / tm 4.110 ražený a tm 4.170 výjezdový
Celková délka jednokolejných tunelů	jižní 4.140 m, z toho ražených 4.020 m severní 4.170 m, z toho ražených 4.050 m
Tunelové bezpečnostní výklenky	se primárně nenavrhují, doporučuje se vybudovat bezpečnostní kabiny, nebo v souladu s odpověďmi na dotazy upravit provozní řád tunelu před uvedením do provozu, nebo umožňující přítomnost osob zabezpečujících údržbu konstrukcí a technologického vybavení při snížené dopravní rychlosti provedením modelování aerodynamického tlaku na pracovníky údržby
Nechráněná úniková cesta	oboustranný únikový chodník tunelového systému, světlé výšky nad chodníkem 2,25 m a šířky 1,20 m
Bezpečnostní prostor	jednostranný, světlé výšky 2,25 m a šířky 0,50 m nad chodníkem, který je umístěn mimo zóny ohrožení
Chráněná úniková cesta	příčné spojovací chodby s min. rozměrem průchodu 2,25 m x 2,25 m
Ostění tunelů	železobetonový, vodonepropustný prstenec šířky 2,0 m, tloušťka segmentu 0,40 m

#### Trasa tunelů

Variantní návrh výstavby TBM nemění geometrickou polohu koleje.

#### Stručný popis varianty způsobu ražení

Nasazení tunelovacího, plnoprofilového štítu je pro výstavbu tunelů v masivech Homolka i Chlum vhodným řešením. Míru zvýšeného rizika vzhledem k předpokládaným podmínkám je nutné očekávat v geologických poruchách masívu Homolka a v oblasti, kde se nacházela hloubená střední stavební jáma s přechodem pod silnicí Újezd – Bukovec, v úhrnné délce cca 1,200 km, tj. asi 17% z celkem ražených úseků. Navrhovaný tunelovací stroj však respektuje předpokládané geologické podmínky výstavby, kterých podstatné parametry jsou zrekapitulovány v kap. 2 Inženýrsko-geologické podmínky výstavby, přílohou které je výsledek testu spilitů.

Ražení obou tunelů navrhujeme ve směru od vjezdového po výjezdový portál (Rokycany – Plzeň), úpadně 8‰ s tím, že jako první bude stroj nasazen do jižního tunelu (levého ve směru staničení) a po dokončení tunelu se řezná hlava TBM rozebere, přesune opět na vjezdový portál a opět úpadní ražbou dokončí severní tunel. V období přesunů hlavy se z jižního tunelu připraví maximálně možná délka spojovacích chodeb, které se bezprostředně po přechodu ražeb dokončí.

V libovolném časovém úseku bude možné připravit konstrukce hloubené technologické šachty u spojovací chodby č.6. Nosnou konstrukci budou tvořit tubus z převrtávaných pilot, do kterého se umístí technologický a komunikační koridor dle původního návrhu.

kap.2/

#### **Inženýrsko-geologické podmínky výstavby (rekapitulace ze Zadávací dokumentace)**

Geologická stavba zájmového území je poměrně komplikovaná. K nejstarší jednotce zde patří horniny svrchního proterozoika zastoupené převážně tmavými břidlicemi a méně pak světlými prachovci. Směr vrstevnatosti je přibližně kolmý k ose projektovaného tunelu a sklon vrstevních ploch je 30 - 550 k západu. Rozpukání je podle hloubkové úrovně od velmi velké hustoty diskontinuit (D5) ve svrchních partiích masívu až po střední až malou hustotu diskontinuit (D3 - D2) v zóně navětralých až zdravých hornin. V místě tektonických zón jsou však i horniny s extrémně velkou hustotou diskontinuit (D6) a vyskytují se i polohy podrcených, vodonosných hornin. Proterozoické břidlice se budou vyskytovat v rozmezí staničení cca km 96,250 – 98,850. Tyto sedimenty jsou prostoupeny vulkanity, které tvoří významnou terénní elevaci - kopec Chlum. Jedná se o jemnozrnné masivní horniny převážně zelenošedé barvy - spility, které mají kromě svrchních partií obvykle střední až malou hustotu diskontinuit. Spility se budou vyskytovat od staničení cca 98,850 do 100,000, tzn. do konce trasy. Pro obě proterozoické horniny jsou charakteristické pyritové impregnace. Mladší jednotkou jsou paleozoické horniny stáří ordovik. Petrograficky je lze charakterizovat jako prachovité břidlice s extrémně velkou až velkou hustotou diskontinuit (D6-D4). Prachovité břidlice se vyskytují ve staničení od vjezdového portálu, tj. km 95,850 – 96,250.

#### **Tektonika území**

Horninový komplex je tektonicky značně postižen. Projevy tektoniky byly zastiženy jak průzkumnými vrty (převážně ve formě silně podrcené horniny s ohlasy), tak byla tektonika na mnoha místech indikována geofyzikálním měřením jak v předběžném průzkumu tak i v doplňujících geofyzikálních měřeních. Rozsah významných tektonických linií - pásem a indikovaných dislokací v úrovni tunelu či jeho bezprostřední blízkosti na základě geofyzikálního měření : 96,250 – 96,300 / 96,450 – 96,530 / 96,680 – 96,820 / 97,100 – 97,200 / 97,800 – 97,880 / 97,980 – 98,010 / 98,140 – 98,200 / 99,000 – 99,030 / 99,900 – 99,970 / lokální dislokace – 97,680; 98,470; 98,630; 98,850; 99,630. Zadávací dokumentace upozorňuje, že staničení je vztaženo k jižnímu tunelu. V severním tunelu je vzhledem k orientaci tektoniky posun o cca 40 m ve směru staničení. Proterozoické sedimenty jsou postiženy zlomovou tektonikou ve směrech V - Z, SSZ - J JV až S - J a SZ - JV. Porušené stlačené zóny se vyskytují i v prostředí vulkanitů - dosahují mocnosti několika decimetrů až jednoho metru a velmi četná orientace je 310/850. Tektonické omezení neogenních sedimentů je podle zlomů směru S - J a V - Z. Podle ČSN 73 0036 nepatří zájmové území do seismických oblastí.

#### **Hydrogeologické poměry**

Zájmové území je součástí hydrogeologického rajonu 623 – Krystalinikum, proterozoikum a paleozoikum v povodí Berounky. Průměrný roční úhrn srážek za období 1936 – 1986 je kolem 610 mm, převážná většina srážek připadá však na povrchový odtok. Z pohledu hydrogeologie představuje barrandienské proterozoikum a paleozoikum hydrogeologický masiv s výhradně puklinovou propustností a s výraznějšími možnostmi proudění podzemní vody jen v přípovrchové zóně rozpukání a rozvolnění hornin, v ojedinělých případech s hlubším prouděním podzemní vody puklinovými a puklinožilnými systémy. Na základě archivních údajů lze přisoudit přípovrchové zóně rozpukání a rozpojených proterozoických břidlic a drobnou až dosti slabou propustnost (řádově 10<sup>-7</sup> až 10<sup>-5</sup> m/s) a velmi nízkou až nízkou transmisivitu (řádově 10<sup>-6</sup> až 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s). Řádově shodné parametry byly zjištěny též v území budovaném metabazity (spility). Proudění podzemních vod horninami charakteru hydrogeologických masívů (proterozoické břidlice, ordovické břidlice) je vázáno na přípovrchové pásmo rozpukání a druhotně rozpojených hornin. Toto pásmo, různě mocné v závislosti na stupni porušení hornin, má regionální význam. Představuje filtračně nehomogenní prostředí. V důsledku toho se v něm vytváří nejednotná zvědeň s volnou

nebo polonapjatou hladinou podzemní vody. Na tvorbu přírodních zdrojů, podzemních vod, pohyb a odvodnění podzemních vod mají vedle klimatických a morfologických ukazatelů významný vliv strukturně geologické faktory. Nehomogenitu přípovrchové zóny hornin dokládají značně variabilní hodnoty transmisivity, které v průměru vyznačují nízký až velmi nízký stupeň transmisivity. Přípovrchová zvodeň je drénována v úrovni místních erozních bází, generelně do údolí hlavních toků puklinovými, kontaktními a suťovými prameny s vydatností setin a desetin l/s. Významnější hlubší oběh podzemní vody puklinovými systémy nebyl zaznamenán.

#### Chemizmus podzemních vod

V proterozoiku převládají hydrogenkarbonátové vody, místně jsou zastoupeny i vody sulfátové. Na území rozšíření hornin ordoviku je poměr zastoupení hydrogenkarbonátových a sulfátových typů vyrovnanější. V plzeňské pánvi jsou zastoupeny v přípovrchových kolektorech základní i smíšené kalcium-sulfátové vody, hydrogenkarbonátové a sulfátové vody. Kvartérní fluvialní uloženiny představují hydrogenkarbonátové i sulfátové vody. Z hlediska antropogenního znečištění jsou ve studních patrně zvýšené obsahy dusičnanů způsobené pravděpodobně zemědělskou činností. Dále všechny vzorky podzemní vody shodně vykazují bakteriologické znečištění. V úseku tunelu pod masivem Homolky se ve vzorcích podzemní vody z vrtů HJ101 a HJ109 projeví agresivita v důsledku zvýšených hodnot agr. CO<sub>2</sub>. Podle výsledků stavebních rozborů z vrtů, není podzemní voda v okolí plánovaných tunelů Ejovice a mezilehlém úseku dle ČSN EN 206-1 agresivní. V západní části přeložky trati, v úseku tunelu v masivu Chlumu je v okolí vrtu HV124 podzemní voda mírně agresivní z hlediska síranů. Pro zjištění rozsahu možného ovlivnění jímacích objektů byly vypočteny maximální dosahy depresních kuželu v důsledku snížení hladiny podzemní vody podél jednotlivých úseků tunelu. Tunel Homolka zasahuje v celé trase pod hladinu podzemní vody, tudíž s největší pravděpodobností dojde k ovlivnění hladiny podzemní vody. Na základě výpočtu dosahů vzniklé deprese bude maximální ovlivnění dosahovat do vzdálenosti 250 m od vnějšího okraje tunelů. Ovlivnění jímacích objektů na lokalitě Červený Hrádek považujeme za málo pravděpodobné. Ovlivnění jímacích objektů v chatové oblasti Zábělá je možné. Nejhroženější jsou studny a vrty v jižní části chatové oblasti. Zároveň může dojít k ovlivnění kvality podzemních vod v důsledku změny směru proudění. Mezilehlý úsek a tunel Chlum. Zmapované individuální vodní zdroje v obci Újezd se nachází v těsné blízkosti plánovaného tunelu. Podle vypočtených dosahů ovlivnění je maximální dosah deprese až 170 m od vnějších stěn obou souběžných tunelů. Celkem může dojít k ovlivnění 19 jímacích objektů. Zároveň může dojít k ovlivnění kvality podzemních vod v důsledku změny směru proudění nebo možných úniků škodlivých látek v souvislosti se stavbou. Přesné údaje o změnách hladin a kvalitě podzemních vod po zahájení výstavby tunelu poskytne v obou případech monitoring hladiny podzemní vody ve vybudovaných pozorovacích vrtech a sledovaných studních.

#### Agresivita podzemních vod

Na pěti vrtech umístěných v okolí plánované přeložky trati byly provedeny stavební rozbor podzemní vody, které byly rozšířeny o zjišťování obsahů NEL a dusičnanů. Podle výsledků rozborů byla zjištěna zvýšená agresivita v důsledku zvýšených hodnot agr. CO<sub>2</sub> na vrtech HJ-101 a HV-109, které se nachází při východním a západním portálu přeložky Homolka. V okolí vrtů HV-117, HV-118 a HV-119, které jsou umístěny nedaleko mezilehlého úseku mezi tunely a ve východní části tunelu Chlum, nebyla zjištěna žádná agresivita. V západní části přeložky trati, v úseku tunelu v masivu Chlumu je v okolí vrtu HV124 podzemní voda mírně agresivní z hlediska síranů. V žádném vrtu nebyly zjištěny zvýšené obsahy dusičnanů a nedošlo ani k překročení NEL podle kritéria „B“ metodického pokynu MŽP, které se při jeho překročení posuzuje jako znečištění s nutností dalšího řešení.

#### Použitelnost rubaniny

Při ražbě tunelu budou těženy sedimentární horniny svrchního proterozoika (břidlice, prachovce) a vulkanické horniny zastoupené spility. Rozpad hornin je závislý na systému a hustotě rozpukání hornin a na způsobu ražby. Horniny se rozpádají na kvádrovité až nepravidelné

polyedrické úlomky až bloky. Ve svrchních partiích v zóně silného až mírného zvětrání převládají ploché tvary úlomky ovlivněné odlučností podle ploch foliace. V závislosti na způsobu rozpojování horniny lze uvažovat s koeficientem nakypření hornin v rozmezí 1,3 - 1,5. Ve smyslu příslušných článků ČSN 72 1510 a ČSN 72 1511 se jedná o : přírodní kamenivo, které je získané těžením a dále příp. upravené drcením beze změny minerálního a chemického složení, těžené kamenivo upravené těžbou a příp. následným drcením na : drobné kamenivo zahrnující frakce v rozmezí 2 - 22 mm, hrubé kamenivo s velikostí zrna nad 22 mm. Podle ČSN 73 6133 „Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“ bude těžený materiál z tunelu Homolka odpovídat převážně měkkým skalním horninám. Z tunelu Chlum bude převaha rubaniny náležet k tvrdým skalním horninám (navětralé a zdravé spility pevnostní třídy R2 a R1, kdy velikost a tvar fragmentů bude zůstat při zpracování do náspu a po jeho dokončení téměř nezměněn). Kamenité sypaniny z měkkých skalních hornin musí být podle citované normy složeny z navětralých a zvětralých hornin a jejich vlastnosti musí odpovídat čl. 4.3.2 citované normy. V místech tektonického porušení se horniny rozpadají na drobné, ostrohranné úlomky až střípky. Cca 90 - 95% z veškerých vytěžených materiálů bude použitelných jak do násypů, tak případně i na jiných stavbách, např. na různé podsypy, obsypy a zásypy. Vlastnosti hornin bude nutné ověřit při zahájení ražby tunelů provozním průzkumem (viz čl. 7.8. ČSN 73 6133).

Původní předpoklad TT pro NRTM je možné implementovat také pro variantní návrh, když se předpokládá, že TT5 bude zastižena celkem v 17,2% délky, TT4 v 29,0%, TT3 v 38,4% a zvyšných 15,4% v TT2. Tyto procenta z celkové délky ražeb byly základem pro další výběr a posuzování vhodnosti tunelovacího stroje a byly použity pro dále popsané posouzení možného výběru.

### kap.3

#### **Metoda výstavby a posouzení výběru vhodného typu tunelovacího stroje**

Hlavním záměrem návrhu variantního řešení výstavby jednokolejných tunelů plnoprofilovým razícím štítem je snaha o maximální urychlení postupu pomocí strojní, plně mechanizovanou činností využívající komplexní, efektivní schopnost plnoprofilového stroje postupovat prakticky nepřetržitě 24 hod. denně. Celosvětové zkušenosti z vývoje a použití plnoprofilových TBM ukazují, že výrobní a stavební firmy jsou již schopny navrhnout i použít jeden typ stroje v širokém spektru geologických podmínek.

Na základě předpokladaných geotechnických vlastností masivů byl proveden návrh a posouzení vhodného typu tunelovacího stroje pro ražení a vyhodnocení efektivity jeho nasazení. Základními parametry pro návrh a posouzení byly následující parametry masivů : pevnost v prostém tlaku, RMR, RQD a předpokládané přítoky podzemní vody.

SIA 198/1993. Základní posouzení pro výběr vhodného tunelovacího stroje bylo provedeno dle normy SIA 1998/1993. Norma SIA je primárně určena pro tunelovací stroj do tvrdých hornin bez štítu, přesto je možné za základě zatřídění výrubu dle této normy odvodit, zda je vhodnější pro ražení nasadit tunelovací stroj bez štítu, nebo je nutné použít stroj se štítem. V rámci jednotlivých tříd norma uvádí, v jaké vzdálenosti za čelbou a v jakém rozsahu je potřebné realizovat zajištění výrubu tak, aby byla zabezpečena jeho stabilita.

Posouzení tunelovacího stroje dle doporučení DAUB

Dodavatel také posoudil vhodnost stroje dle metodiky a doporučení DAUB (Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen). Posuzovali se tyto parametry : pevnost hornin v prostém tlaku, RMR, RQD, vzdálenost diskontinuít, abrazivita hornin, přítoky podzemní vody, stabilita výrubu a riziko bobtnání hornin.

Nasazení tunelovacích strojů je z hlediska penetrace vhodné, když její hodnota dosahuje minimálně 3 až 4 mm na 1 otočení řezné hlavy. Na základě vyhodnocení podkladů z IGHP je možné konstatovat, že geologické prostředí v navrhované trase tunelů tomuto požadavku vyhovují.

Obecně se v současnosti uvádí, že nasazení tunelovacího stroje je efektivní, pokud je délka ražení vyšší než 2 km, v projektu Ejpovických tunelů se uvažuje s délkou až 8 km, takže i tuto podmínku návrh splňuje.

Rozdílné vlastnosti hornin na čelbě mají vliv na postup ražení. Pokud jsou vlastnosti v rámci čelby rozdílné, výkon stroje se snižuje, protože není možné zajistit pro všechny vrstvy optimální přítlak na řezné dláta a z toho vyplývající optimální penetraci. Předpokládáme asi 15% (cca 1.200 m) z celkové délky 8.070 m, ve kterých nebude možné dosáhnout optimální penetraci.

#### Technologie ražeb

Pro ražbu v tvrdých horninách, kterých úseky v trase převažují, se pro ražení používají valivé dláta, v zeminách soustava nožů, „trhacích“ zubů a zarovnávacích dlát, když faktory, které opotřebení zásadně ovlivňují jsou geotechnické (křivka zrnitosti, tvar zrn, petrografické složení, těsnost uložení (index relativního zhutnění), provozně technické faktory (tvar a rozložení řezných nástrojů, odstraňování rubaniny z čelby) a stavební (intervaly kontroly a výměny řezných nástrojů). Uchazeč na základě dostupných podkladů provedl odhad penetrace na základě nejčastěji používaného modelu, který byl vyvinut na Colorado school of mines (Rostani).

#### kap.4

#### **Návrh technického řešení**

##### Popis konstrukce tunelového ostění

Ostění kruhových, jednokolejných tunelů realizovaných pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů respektuje všeobecné, normové požadavky na únosnost i použitelnost konstrukcí podzemních objektů. Byly provedeny statické výpočty navrženého ostění v rovinném (2D) i prostorovém (3D) modelu metodou lomové energie programem ATENA. Ostění bylo zatíženo horninovým tlakem, hydrostatickým tlakem, tlakem od mechanizace – při ražbě i při dopravě segmentů na čelbu, zatížením změnami teplot tak, jak to vyplývá z požadavků příslušných TKP. Navrhuje se uzavřený hydroizolační systém, když se předpokládá, že po čase se v podzemí obnoví stávající systém proudění vody v masívu.

Kruhové ostění je navrženo jako jednoplášťové s uzavřeným systémem izolace. Ostění tvoří prebrikované železo-betonové segmenty (tubinky), s vnitřním průměrem 4,35 m, tloušťka segmentu je 0,40 m, šířka nosného prstence 2,0 m. Beton ostění navrhujeme C45/55, ocelovou výztuž B500.B. Vzhledem k tolerancím a nepřesnostem při ražení doporučujeme navýšit průměr výrubu o 0,15 m, mezikruží bude vyplněné injektážní směsí, která bude dopravována přes „chvostovou“ část stroje. Pomocí aditiv je možné vlastnosti směsi vhodně přizpůsobovat skutečně zastiženým podmínkám. Grafická příloha č. 6.1 Vzorový příčný řez tunelu v přímce a oblouku podrobně dokladuje konstrukci ostění, vystrojení a využití STP.

Podkladem pro návrh vzorového příčného řezu, dokladovaného jako příloha č.6.1 grafické části, byl především Vzorový list Světlý tunelový průřez jednokolejného tunelu (Schváleno č.j. S 65027/09 – OTH ze dne 17.2.2010 / účinnost od 1.3.2010) a technické vybavení tunelových objektů Zadávací dokumentací. Jak je z dokladovaných příloh 6.1 a 6.2 (Porovnání ploch TBM x NRTM) patrné, v úrovni pochozích ploch se využitelná šířka zvětšila a navržené konstrukce chodníků ze zadávací dokumentace je v profilu TBM umístěna s rezervou, která by se dala v případě dodatečného požadavku využít pro zvětšení počtu kabelových chrániček.

Tunelové konstrukce je nutné před korozivním účinkem bludných proudů ochránit tzv. pasivní ochranou, kterou tvoří soustava zemnicích pásků, na kterou jsou připevněny všechny kovové části, nacházející se na líci ostění – madlo (zábradlí), rámy výplňových delicích konstrukcí a držáky trakčního vedení, jako i výztuž kleneb. V tunelech bude zachován prostor pro pevnou jízdní dráhu i středovou kanalizaci, kterou bude možné zachytit případně vytékající tekutiny a tyto usměrnit, případně svést do centrální nádrže v místě výjezdového portálu. Všechny konstrukce trakčního vedení (závěsy TV i napínače lan) je možné po drobných úpravách umístit také do kruhového STP (světlého tunelového průřezu).



Propojení se spojovací chodbou bude lokálně vyřešeno vhodným uspořádáním atypických prstenců s menšími segmenty tak, aby při jejich vylamování nebyly poškozeny sousední prstence, které budou zabudovány trvale. Protože spojovací chodby budou realizovány NRTM, bude nutné podzemní vodu, která pronikne do chodeb převést do centrální tunelové stoky a odtud do odvodňovacího systému přilehlé železniční dráhy.

Spojovací chodba č.6 bude ražena a v původním místě se napojí na hloubenou šachtu, která se vystrojí technologickým kanálem a přístupovým schodištěm z technologického objektu nad ní. Přes tuto šachtu bude do tunelů přivedena elektrická energie a potrubí, zabezpečující požární vodu. Nosnou konstrukci šachty tvoří prstenec z převrtávaných pilot  $\varnothing 1,20$  m dl. 17,0 m, který bude na vnitřní ploše zesílen železo-betonovým nosníkem. Primárně uvažujeme s vodonepropustností této konstrukce, mezi tyto dva prstence však bude možné v nutném případě zabudovat hydroizolační vrstvu nebo drenážní systém. Šachta je umístěna pod Technologickým centrem tak, aby toto překrylo a tím i ochránilo vstupy a konstrukce před nepřízní počasí i vandaly.

#### Hlavní zásady postupu výstavby

Postup výstavby ražených jednokolejných tunelů bude nasměrován od vjezdového portálu, který vyhovuje především z hlediska volnější úpravy ploch a staveništních komunikací, když odvoz rubaniny na výjezdovém portálu je mimořádně stížen omezením možných ploch a především odvozných tras přes blízké součásti Plzně - Újezd a Borovec. Částečnou nevýhodou tohoto směru je i úpadní ražba, při které se v mimořádných případech vydatných přítoků podzemních vod může čelba zavodnit. Za řeznou hlavou bude po postupu mechanicky odebírána rubanina, která se dopravníky přemístí na vhodnou plochu před portálem a po přetřídění se naloží na dopravní vozidla (silniční nebo železniční) a odveze se na meziskládky pro další zpracování nebo přímo na definitivní skládku.

Hlavní zásady postupu výstavby tunelu budou podřízeny vhodným technologiím, které se dají pro horninové prostředí předpokládat. Výstavbu je na vjezdovém portálu možné zahájit bezprostředně na svislé steně portálu, když před ní již bude v otevřené stavební jámě portálu připravena dostatečná plocha na které se tunelovací stroj zkompletuje. Součástí zařízení staveniště (ZS) před tímto portálem bude sklad prefabrikátů a jejich překladiště, betonárka, injektážní centrum, zařízení k ochraně vod, příjezdové a staveništní komunikace a technologické objekty zabezpečující – nouzové osvětlení, telefonní spojení v tunelech, záchranní buňky, hasící systém do podzemí i opatření proti prašnosti při překládání a skladování materiálu výlomu. Na ZS bude vzhledem k uzavřenému systému přípravy injektážních hmot vybudovaná samostatná přípojka vody, která bude po dokončení výstavby zrušena. Plochy pro mezideponie a deponie na vjezdovém portálu pro NRTM jsou vhodné i pro TBM. Podrobně je POV a ZS popsáno samostatnými přílohami nabídky.

Důležitou součástí postupu výstavby je provádění měření, které mají zabránit mimořádným událostem při výstavbě, proto bude v projektu této otázky věnována patřičná pozornost.

#### Měření při výstavbě

##### Geotechnický monitoring během ražby pomocí tunelovacího stroje

Zjišťování geotechnických podmínek před čelbou .

V případě ražby pomocí tunelovacího stroje částečně nahrazuje geotechnický monitoring před čelbou ověřování poměrů na čelbě při ražbě pomocí NRTM, jelikož čelba je v případě ražby pomocí TBM těžce přístupná. Geotechnický monitoring před čelbou je třeba provádět za účelem ověření poměrů panujících v masivu stanovených geotechnickým průzkumem, či za účelem jejich doplnění. Detailní znalost poměrů před čelbou vede ke snížení rizik spojených s ražbou, která se můžou 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. Zatímco v případě jejího brzkého odhalení a přijetí nutných

opatření se toto riziko pro ražbu u tunelovacího stroje razantně snižuje. Z této filozofie je třeba při provádění monitoringu před čelbou vycházet.

Systémy pro sledování geotechnických podmínek před čelbou je možné rozdělit do tří hlavních skupin a jejich případných podskupin:

Průzkumy prováděné z tunelu

Průzkumy prováděné z povrchu

Průzkumy kombinované, kdy je využíváno, jak měření z povrchu tak z tunelu nebo měření prováděná mezi právě raženým tunelem a tunelem již vyraženým (či průzkumnou štolou)

V rámci tohoto oddílu bude věnována pozornost průzkumu prováděnému z tunelu.

#### 1.1 Průzkumy prováděné z tunelu

Průzkumy prováděné z tunelů je možné rozdělit do dalších dvou podskupin. První podskupinu tvoří průzkumy, které si vynucují přerušení postupu ražby (tzv. destruktivní). Druhou podskupinu pak tvoří průzkumy, které nevyžadují mechanický zásah před čelbou a nevynucují si tak přesušení ražby po dobu jejich provádění (tzv. nedestruktivní).

##### 1.1.1 Nedestruktivní průzkumy – geofyzikální měření

Nedestruktivní průzkumy by měly být prováděny standardně během celé ražby a získaná data by měla být soustavně vyhodnocována pro určení optimálního postupu troje. Tedy aby se mohla obsluha stroje připravit na ztížené podmínky a rozhodnout o protiopatření, či aby byly potvrzeny bezproblémové podmínky pro ražbu a rychlost ražby tak mohla být zvýšena.

Ke komplexním systémům, které zajišťují provádění i vyhodnocování průzkumu, patří například systém BEAM (Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring, firmy Geo exploration technologies). Tento systém umožňuje provádění průzkumu během ražby zhruba do vzdálenosti tří průměrů tunelu od hlavy tunelovacího stroje směrem do masivu s velkou přesností a v případě hrubé detekce poruchových zón ještě dále do masivu. Systém BEAM automaticky vyhodnocuje data a odesílá je do řídicí kabiny operátora stroje (k tomu je možné ještě bezdrátově odesílat výsledky k další analýze na pracoviště umístěná i mimo staveniště viz obr. 1). Systém je schopen detekovat: zlomové zóny, krasové zóny, vodou nasycené zóny, kaverny a zóny rozložených či zvětralých hornin. Systém je založen na kombinaci indukční polarizace, která charakterizuje schopnost masivu ukládat elektrickou energii, a vyhodnocování elektrického odporu masivu. Systém je zakomponován přímo do hlavy tunelovacího stroje, přičemž používá vybraná rezná dláta jako měřicí elektrody.

Dalším systémem geofyzikálního průzkumu, ovšem na jiném principu, je systém TSP firmy Amberg technologies (obr. 2). Systém vyhodnocuje odraz seizmických vln v masivu, který je obvykle spojen se změnou v mechanických vlastnostech hornin, či změnou typu hornin. Analýza probíhá na principu vyhodnocování P-vln a S-vln. Systém je schopen provádět průzkum před čelbou až do vzdálenosti ca. 150 m. Charakteristikou systému je, že není zakomponován přímo do tunelovacího stroje.

##### 1.1.2 Destruktivní průzkumy

Jak již bylo řečeno, v případě destruktivního průzkumu je třeba přerušovat ražbu, a proto by mělo být jeho provádění omezené jen na nutné případy. Zejména tedy pokud je geofyzikálním průzkumem odhalena nějaká významnější překážka, měl by následně být ověřen její rozsah a charakteristika pomocí destruktivního průzkumu.

Pokud je ovšem ražba prováděna v krasových oblastech, kde nedestruktivní průzkum nedosahuje dle zkušeností z praxe velké přesnosti, měly by být poměry před čelbou vyhodnocovány pomocí destruktivního průzkumu kontinuálně, když si to vynutí prodloužení doby ražby. Mezi destruktivní metody průzkumu patří provádění vrtů před čelbu.

Průzkumné vrty mohou být prováděny přes čelbu nebo skrz štít stroje (obr. 3). Délka vrtů může dosahovat až 100 m. Významnější omezení však tvoří možnost provádět průzkumné vrty do radiální vzdálenosti 10 m od štítu stroje. Průzkumné vrty mohou být prováděny stejnými vrtnými zařízeními, která se používají pro instalaci svorníků před čelbou kvůli její stabilizaci.

Sledování procesu ražby

Data získaná z měření popsaných v rámci tohoto oddílu by měla být během ražby kontinuálně shromažďována a vyhodnocována. To umožňuje systém pro pokročilé řízení ražby, kterým by měl být tunelovací stroj vybaven.

#### 2.1 Kontrola objemu výrubu

Základním údajem je sledování množství vyrubané horniny, které je srovnáváno s teoretickým výrubem na základě postupu stroje. Množství rubaniny je sledováno pomocí vážicího zařízení. Vážicí zařízení je integrováno v přepravníkovém pásu stroje. Zařízení váží přepravovanou horninu v závislosti na čase. Pokud je známá hustota horniny (zařízení je však třeba postupně kalibrovat) jednoduše se pak z těchto údajů získá vyrubaný objem horniny. Na základě srovnání objemu vyrubané horniny a objemu teoretického výrubu je pak kontrolováno, zda nedochází k příliš velkému nadvýrubu.

#### 2.2 Kontrola prováděné injektáže za rub ostění

Kontrolován je tlak a objem injektáže prováděné za rub ostění. Po zatuhnutí injektáže je možné provést jádrové vrty a zkontrolovat tak pevnostní vlastnosti injektáže. Parametry injektáže, které je třeba kontrolovat, značně závisí na typu výplňové hmoty. Pomocí měření objemu provedené injektáže je možné rámcově kontrolovat konvergence výrubu, ke kterým dochází v prostoru mezi řeznou hlavou stroje a místem, kde je usazováno segmentové ostění.

#### 2.3 Monitoring sil vyvozovaných strojem na řezná dláta

Během ražby je třeba kontrolovat přítlačnou sílu na řezná dláta, aby nedocházelo k jejich přetěžování. K tomu může dojít v případě heterogenní čelby a požadavku na dosažení příliš velké penetrace. V tomto případě se může veškerá přítlačná síla stroje soustředit pouze na ta valivá dláta, která právě odrubávají pevnější část čelby a ta mohou být přetěžována, což vede k jejich nadměrnému opotřebení.

#### 2.4 Monitoring tlaku v hydraulických lisech stroje

Monitoring maximální tlaku a kontrola zda nedochází k překračování předepsané hodnoty je důležitá jednak z pohledu nepřetěžování valivých dlát na čelbě a zejména pak nepřetěžování ostění. V případě ostění nesmí být v žádném případě překročena maximální hodnota tlaku v hydraulických lisech, aby nedošlo k podrcení segmentů.

Monitoring segmentového ostění

#### 3.1 Deformace segmentového ostění

Základem monitoringu segmentů je měření konvergencí prstence ze segmentů a vzájemného posunu segmentů. Z hlediska konvergencí je důležitá zejména tzv. ovalizace prstence, při které dochází k rozevírání podélných spar. Omezení ovalizace a vzájemného posunu segmentů je důležité kvůli zajištění nepropustnosti segmentového ostění. Hodnota maximálního posunu a maximálního rozevření spáry mezi segmenty je definována použitou izolací mezi segmenty. Konvergence je možné měřit pomocí konvergenčního pásma.

#### 3.2 Napjatost v segmentovém ostění

Napětí v segmentovém ostění je možné měřit pomocí tenzometrů. Tenzometry jsou do ostění osazeny během prefabrikace segmentů. Pomocí osových tenzometrů (axial strain gauge – obr. 4) je pak možné určit osová napětí v segmentech od posuvných lisů. Napjatost v segmentech od horninového zatížení a zatížení hydrostatickým tlakem je možné měřit pomocí tangenciálních tenzometrů. Tenzometry má být vybaven vybraný prstenec.

kap.5

### **Bezpečnost práce a ochrana zdraví**

Na základě zkušeností a dostupných informací je možné předpokládat možnost vzniku následujících neodstranitelných rizik souvisejících s vykonáváním pracovních činností v uzavřeném prostoru tunelů a to nadměrný hluk. Ve všeobecnosti se bezpečnost a ochrana zdraví při práci řídí ustanoveními všeobecně platných předpisů a při stavbě podzemních objektů se také uplatňují požadavky na BOZP ve smyslu báňských předpisů.

Považujeme za důležité zdůraznit : pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků se vykonají potřebné opatření aby :

- pracoviště bylo projektované, vybudované, vybavené, uvedené do provozu, provozované a udržované tak, aby zaměstnanci mohli vykonávat přidělenou práci bez ohrožení vlastní bezpečnosti a zdraví jiných zaměstnanců
- se práce na pracovištích prováděla pod dozorem odpovědné osoby
- práce spojená s mimořádným nebezpečím byla svěřena jenom oprávněným zaměstnancům a provedena v souladu s vydanými pokyny
- všechny vydané pokyny byly srozumitelné pro všechny zaměstnance, kterých se týkají
- byly k dispozici přiměřené prostředky pro poskytnutí první pomoci
- se před započítím prací nebo činností vypracovala příslušná provozní dokumentace obsahující požadavky předmětných předpisů. Dokumentace se musí aktualizovat, když se na pracovištích provedly důležité změny a když se provedly opatření na zabránění opakování případů, které ohrožují bezpečnost a ochranu zdraví
- provedou se bezpečnostné a preventivní opatření přiměřené povaze provozu na zajišťování a předcházení bezprostředního vzniku a šíření požárů y výbuchů, jako i na jejich zdolávání a na předcházení výskytu výbušného anebo zdraví ohrožujícího ovzduší
- zabezpečí a udržují se vhodné únikové a záchranné prostředky, aby zaměstnanci mohli v případě bezprostředního a vážného ohrožení života nebo zdraví rychle a bezpečně opustit pracoviště