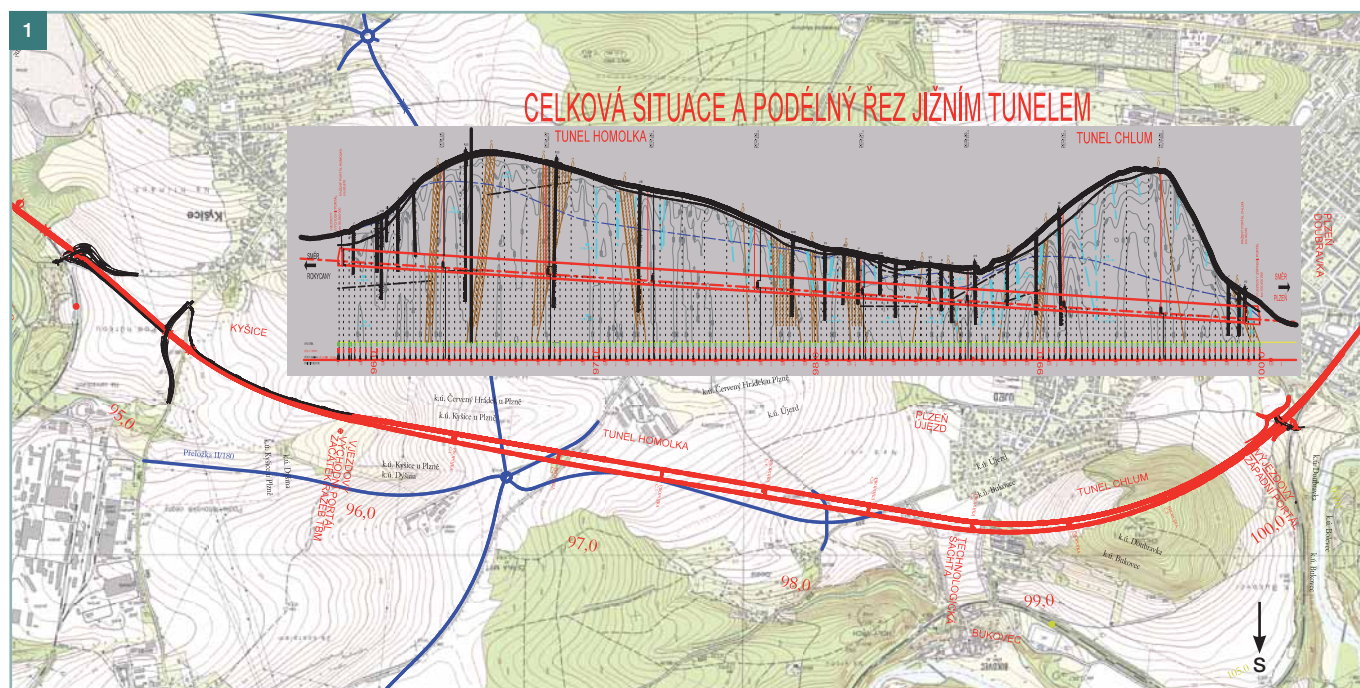


EJPOVICKÉ TUNELY, STAV PŘÍPRAV NA KONCI ROKU 2014

EJPOVICE TUNNELS IN 2014



Jiří Mára, Michal Gramblička,
Jiří Velebil

Začátek ražení nejdelších tunelů na III. železničním koridoru je na spadnutí. Výstavba přeložky železniční tratě mezi Rokycany a Plzní začala hloubením stavebních jam obou portálů. Jaká je historie přípravy této stavby a jak je vlastně vyprojektovaná? ■ The start of the excavation of the longest tunnels in the III Railway Corridor is drawing nearer. The construction of the railway relay between Rokycany and Plzeň commenced with excavating foundation pits for both portals. What is the history of this construction and how was it designed?

HISTORIE (2006 AŽ 2011)

Přípravná dokumentace stavby Modernizace trati Rokycany-Plzeň, navrhovala novostavbu dvou dvokolejných tunelů, tunelu Homolka délky 2 400 m a tunelu Chlum délky 1 300 m, zhruba v jedné třetině délky oddělených zářezem, v kterém byla umístěna železniční zastávka. Každý z obou tunelů byl vybaven vlastní, paralelně vedenou únikovou štolou. Trasa tunelů byla vedena ve směru přibližně VJV-ZSZ a v západní části přecházela do mírného oblouku směrem k jihozápadu.

Rozhodnutí Rady města Plzně o nutnosti výrazného omezení vlivu výstavby tunelů a také železniční dopravy na jeho okolí (především obytných zón v Újezdě), společně se zrušením železniční zastávky umístěné do zářezu me-

zi tunely v roce 2006, zásadně ovlivnilo koncepci vedení železniční tratě, především jeho podzemních objektů.

ZADÁVACÍ DOKUMENTACE PRO SOUTĚŽ (2012)

Dvoukolejná železniční trať bude v podzemí vedena tak, že každá kolej bude vedena samostatně v jednokolejné tunelu a portálové části budou realizovány ve společných stavebních jámách. Stavební jáma, umístěná mezi tunely Homolka a Chlum, v depresi mezi oběma masivy měla mít pouze dočasný charakter a po dokončení výstavby ražných tunelů se zasypávala. Následně byla do těchto prostor umístěna technologická šachta.

Dva jednokolejné tunely budou navzájem propojeny celkem osmi chodbami, šesti v Homolce a dvěma v Chlumu, a do jejich komor budou umístěna nutná technologická zařízení zabezpečující železniční dopravu.

Směrové vedení tunelů je v Homolce v přímé a další cca třetina délky pod Chludem je v mírném levém oblouku. Trasa severního tunelu je odsunuta severně tak, že maximální osová vzdálenost tunelů dosahuje 48 m. Výškové vedení trasy je usazeno hlouběji v obou masivech, s jednotným sklonem 8 ‰, a trať klesá ve směru staničení, tj. od Rokycan do Plzně.

Nadmořská výška na východním okraji výstavbou podzemních objektů

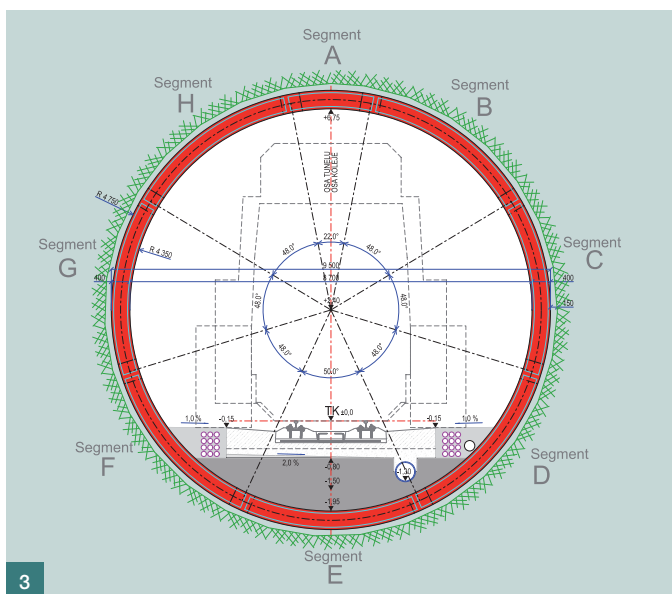
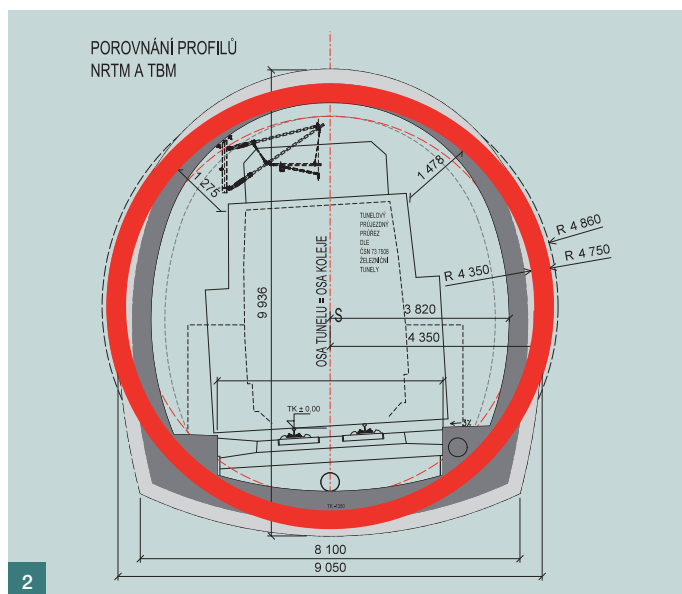
Obr. 1 Celková situace a podélný řez jižním tunelem ■ Fig. 1 Overall situation and longitudinal section of the southern tunnel

zasaženého území je cca 380 m n. m., na západním cca 340 m n. m. Homolka se zvedá až na 417 m n. m., mezi masivy klesá terén zpět na 345 m n. m., protíná silnici z Újezdu do Bukovce a vrchol Chlumu stoupá až na 405 m n. m. Většina území je využívána zemědělskou výrobou, pouze v západním konci trasy je lesní porost.

Navrhovanou trasu protínají tři silnice II. třídy vedené výhradně z městské části Plzeň-Újezd do oblastí severně a východně od plzeňské městské aglomerace. Přímě nad trasou tunelu Chlum se nachází jediný objekt – bývalá rozhledna na Chlumu. Horninové nadloží nad tunelem v místě rozhledny je cca 60 m. Nedaleko oblasti indukovaných účinků výstavby ražených tunelů (poklesová kotlina vytýčena hranicemi měřitelných poklesů a vliv trhacích prací definovaný izoseistou 5 mm/s) se nachází několik hospodářských objektů zemědělských statků a za depresí mezi tunely Homolka a Chlum přiléhá k trase tunelů souvislejší zástavba přízemních garáží.

Geologické poměry v trase ražených tunelů

Podrobný geotechnický průzkum

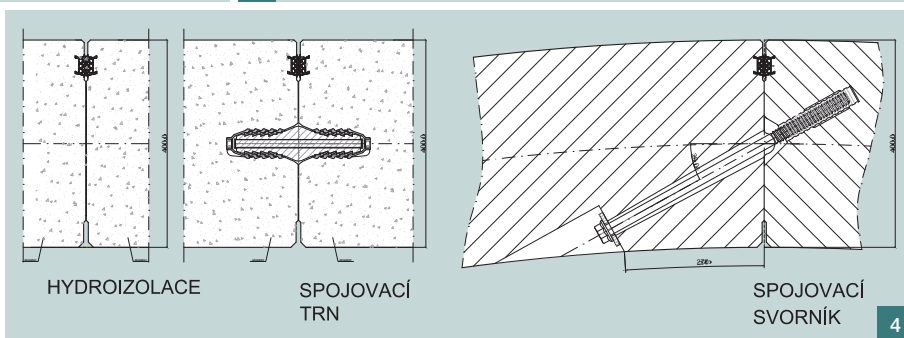


(IGHP) byl realizovaný v původní trase dvoukolejného tunelu, která polohově odpovídá jižnímu tunelu. Geofyzikální průzkum, který má větší plošný rozsah než bodové vrtné práce, prokázal, že geologické struktury mají průběh zhruba jihovýchod-severozápad.

Hlavní metodou podrobného geotechnického průzkumu byly vrtné práce. Z realizovaných jedenácti jádrových vrtů byly dva vrty hydrogeologické, jeden vrt svislý inženýrsko-geologický a osm vrtů orientovaných – šikmých. Úklon od svislice byl zvolen s ohledem na výsledky geofyzikálního průzkumu v předchozí etapě, který indikoval poruchová pásma. Aby byla zvýšena pravděpodobnost, že vrty zastihnou tyto poruchy, byl zvolen příslušný směr vrtnání při sklonu 15° od svislice.

V rámci hydrogeologického průzkumu byla vybudována síť hydrogeologických monitorovacích vrtů, která slouží k sledování přirozené hladiny podzemní vody před výstavbou, v průběhu ražby a následně po ukončení stavby. Účelem pozorovací sítě je sledovat vliv stavby na úroveň a kvalitu podzemní vody a vodních zdrojů. Součástí hydrogeologických prací bylo též provedení čerpacích zkoušek pro stanovení velikosti přítoků v průběhu ražby a do stavebních jam.

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 až 55° k západu. Rozpukání masivů klesá s hloubkou. Mladší jednotkou jsou pa-



leozoické horniny stáří ordovik. Petrograficky je lze charakterizovat jako prachovité břidlice s extrémně velkou až velkou hustotou diskontinuit. Prachovité břidlice se vyskytují v první cca třetině ražby v masivu Homolka od vjezdového portálu. Sedimenty jsou prostoupeny vulkanity, které tvoří významnou terénní elevaci – kopec Chlum. Jedná se o jemnozrnné masivní horniny převážně zelenošedé barvy – spility. Pro obě proterozoické horniny jsou charakteristické pyritové impregnace. S další geologickou jednotkou se setkáme při přechodu ražeb mezi masivy Homolka a Chlumu. Jedná se o výběžek terciární pánve stáří neogén. Neogenní souvrství je tvořeno pískem až pískem s jemnozrnnou příměsí, při bázi pak štěrky. Zastížené zeminy byly lokálně velmi ulehle až stmelené, tzn. charakteru hornin.

Původní koncepce výstavby tunelů (pro stavební povolení a Soutěž o dodavatele ...)

Modernizace tratě v úseku Rokycany-Plzeň je po úseku mezi Prahou a Berounem nejdůležitější částí III. železničního tranzitního koridoru a splňuje podmínku výrazného zkrácení tratě mimo údolí Berounky, v kterém je vedena stávající železniční trať. Dále umožní zvýše-

ní traťové rychlosti do 200 km/h a výhledové napojení na vysokorychlostní železniční trať, s kterou se uvažuje od vjezdových portálů tunelu Homolka směrem na Ejovice. Trasa železniční tratě je vedena mimo obytná sídla nacházející se mezi Rokycany a Plzní.

Výstavba železniční tratě byla rozdělena na úseky, jejichž realizace pomocí NRTM by pravděpodobně probíhala najednou. Z velkých stavebních objektů vyčnívaly především ražené tunely s hloubenými stavebními jámami, když celková délka jednokolejných tunelů po dokončení výstavby byla 8 326 m (obr. 1).

Průběh a podmínky soutěže na výstavbu

Zadavatel (SŽDC, s. o.), zastoupený Stavební správou Plzeň (nyní SS Západ se sídlem v Praze) připravil Zadávací podmínky a umožnil stavebním firmám připravit variantní návrh ražení jednokolejných tunelů. Po vyhodnocení soutěže vybral zadavatel v roce 2012 jako nejvýhodnější variantu dvou jednokolejných tunelů, ražených pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje (Herrenknecht AG) od sdružení firem Metrostav, a. s., a Subterra, a. s. Dalšími soutěžícími byly firmy Skanska, a. s., a OHL ŽS, a. s.



REALIZAČNÍ DOKUMENTACE PRO TUNELY (2014)

Realizační dokumentace tunelů respektuje všechny rozhodující parametry železniční tratě a upravuje pouze tvar ostění tunelových trub, který je daný změnou technologie výstavby – z cyklického postupu NRTM v podkovovitém profilu na kruhový profil pro plnoprofilový tunelovací stroj (zkráceně TBM).

Základní posouzení pro výběr tunelovacího stroje

Na základě geotechnických vlastností horninového masivu vyplývajících z Podrobného IGHP byl proveden návrh a posouzení tunelovacího stroje a vyhodnocení efektivity jeho nasazení.

Základními parametry pro návrh a posouzení byly: pevnost v prostém tlaku, RMR, RQD a přítoky podzemních vod. Vzhledem k tomu, že v České republice není žádná zavedená metodika pro výše uváděný výběr tunelovacích strojů, projektant společně se zhotovitelem použil nejpoužívanější zahraniční metodiky – DAUBT a normu SIA 198/1993 (i když tato je primárně určena pro posouzení strojů do tvrdých hornin bez štítu).

Vzorový příčný řez tunelu

Světlý tunelový průřez jednokolejných tunelů je navržen 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 požadovaných parametrů DVZ i pro rychlost 200 km/h vybraný zhotovitel

Obr. 2 Porovnání profilů NRTM a TBM ■

Fig. 2 Comparison of NATM and TBM profiles

Obr. 3 Vzorový příčný řez jednokolejným tunelem ■ Fig. 3 Model cross section of the single-track tunnel

Obr. 4 Detaily hydroizolace, spojů a ocelových svorníků ■ Fig. 4 The details of waterproofing, conjunctions and steel bolts

Obr. 5 Prorážka tunelu strojem na projektu Saverne [2] ■ Fig. 5 Boring the tunnel by the Saverne project machine [2]

v Nabídce Var. č. 1 – TBM předložil Posouzení aerodynamického vlivu na cestující v uzavřeném dopravním vozidle při dosažení rychlosti 200 km/h (obr. 2).

Nosná konstrukce tunelového ostění

Obecně neexistuje univerzální metoda pro návrh segmentového ostění. Velmi často návrh segmentového ostění vychází ze zkušeností a znalostí projektantů a dodavatelů, které získali během předcházejících projektů. Jelikož do návrhu ostění vstupuje mnoho faktorů vztahujících se ke konkrétnímu projektu, je velmi těžké stanovit nějakou univerzální metodu pro návrh.

Po dobu své životnosti musí tunelové segmentové ostění splňovat následující funkce, které jsou nejčastěji požadovány investorem, a projektant je ve svém návrhu musí zohlednit:

- musí sloužit jako trvalá výtěž výrubu po celou dobu životnosti – normativně požadovaná je 100 let,
- nesmí dojít ke změně vnitřního průřezu ostění během užívání,
- musí být nepropustné, aby bránilo průsakům podzemní vody do prostoru tunelu,
- musí zajišťovat nepropustnost pro podzemní vodu již při ražbě,

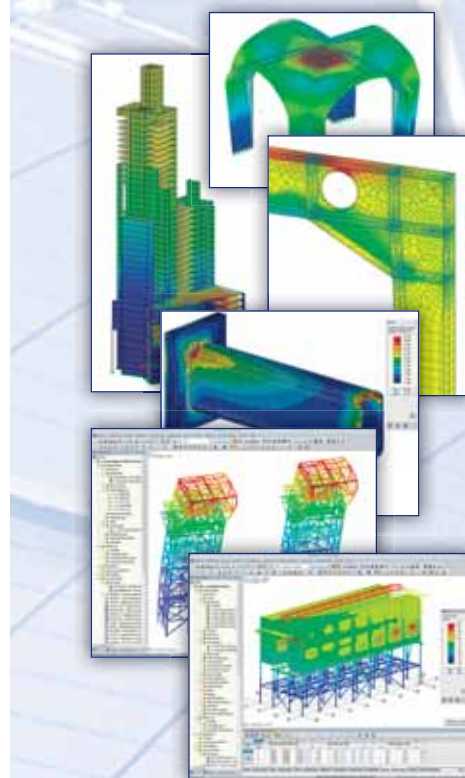


RSTAB 8

Program pro výpočet prutových konstrukcí

RFEM 5

FEM program pro výpočet 3D konstrukcí



Aktuální informace

- Podpora nových evropských norem
- Různé národní přílohy
- Cena programu již od 33 450 Kč
- Česká verze včetně manuálů

www.dlupal.cz

Dlupal Software s.r.o.
Anglická 28, 120 00 Praha 2
Tel.: +420 221 590 196
Fax: +420 222 519 218
www.dlupal.cz
info@dlupal.cz



- musí poskytovat podporu pro další vybavení tunelu,
- při ražbě v zeminách je třeba zajistit možnost okamžitého přenosu zatížení horninovým tlakem na ostění, aby nedocházelo k deformacím,
- jednou z nejdůležitějších funkcí ostění je poskytování opory pro zapření tunelovacího stroje při ražbě.

Tato funkce souvisí i s poskytováním stability tunelovacímu stroji, aby nedošlo k otočení stroje podél jeho osy. Dále je třeba také zajistit, aby v již hotovém ostění bylo možné provádět další konstrukční a popřípadě i dopravní práce.

Nová generace segmentového ostění je charakteristická velmi vysokou přesností výroby prefabrikátů a systémovým osazováním těsnicích pásek přímo na vyrobené prefabrikáty. Geometrické odchylky jsou minimální, proto těsnicí pásky vložené do obvodových drážek pak ve spárách ostění zatěsňují kvalitně podzemní dílo proti účinkům podzemní vody.

Ostění podzemního díla se při uplatnění segmentových prvků skládá z jednotlivých prstenců kruhového tvaru. Typy prstenců segmentového ostění je možné popsat z hlediska podélného uspořádání. Podélné uspořádání je definováno tvarem jednotlivých prstenců následujících za sebou a tvořících tak niveletu tunelu. Typově je segmentové ostění z hlediska podélného uspořádání navrženo se zkosením, požadovaný výškový gradient a směrový oblouk je docílen vzájemným natáčením a posloupností instalace, když zkosená je vždy pouze jedna strana prstence. Vzhledem k tolerancím a nepřesnostem při ražení je průměr výrubu navýšen o 0,15 m a toto mezikružší bude vyplněné injektážní směsí.

Základním materiálem pro zhotovení ostění je beton. Navrhujeme segmenty vyztužené ocelovou rozptýlenou výztuží a jejich kombinaci s klasickou betonářskou výztuží. Vyztužené segmenty jsou navrženy do poruchových pásem na portálech a především v úsecích, kde se budou ve stěnách ostění prorážet příčná propojení.

Na rozdíl od běžného betonu má drátkobeton schopnost odolávat tahovému napětí v ohybu i po vzniku první mikrotrhliny. Tato pevnost, která je běžně nižší než pevnost při vzniku první mikrotrhliny, je velmi důležitá a závisí na typu a dávkování ocelových drátků. Ocelové drátky v dostatečném množství náhodně rozptýlené ve struktuře betonu mění

křehký beton na houževnatý drátkobeton s kvaziplastickými charakteristikami chování po vzniku trhlin. Nelze proto zanedbat rozdíl mezi chováním konstrukcí se strukturou betonu vyztuženou vlákny a chováním konstrukcí z prostého nebo železového betonu. Pro statické výpočty, zatížení a dimenzování byly v RDS použity programy ATENA a Plaxis (obr. 3). (Více viz na str. 46, pozn. redakce)

Kruhové ostění je navrženo jako jednoplášťové s uzavřeným systémem izolace. Ostění tvoří prefabrikované železobetonové segmenty, s vnitřním průměrem 4,35 m, tloušťka segmentu je 0,4 m a šířka nosného prstence 2 m. Pro výrobu ostění byl navržen beton C45/55 XA2, XC2, XF2, XD1. Mimo čtyř prstenců v místě napojení spojovacích chodeb na tunel a obou připortálových úseků s předpokládanou délkou 20 m, tj. deset prstenců, budou segmenty vyztuženy rozptýlenou výztuží. V místě křížení se spojovacími chodbami budou segmenty kromě rozptýlených ocelových drátků vyztuženy také ocelovou, válcovanou výztuží B500.B.

Tvary spár

Kontaktní plochy mezi přiléhajícími prstenci musí být schopny přenést tlakové (rovněž excentrické) zatížení od podélného posunu stroje, posouvající síly mezi prstenci vzniklé jejich rozdílnou deformací a síly vzniklé konzolovým účinkem při skládání. Plochy mezi segmenty se upravují tak, že okrajová část se poněkud odsadí, aby se segmenty nedotýkaly po ložných obvodových hranách a omezilo se tak riziko odštípnutí povrchové vrstvy.

Izolace segmentů, těsnění

Nepropustnosti segmentového ostění se dosahuje dvěma způsoby: segmenty samotnými, jejichž propustnost je omezena (velikost trhlin vzniklých napětím je rovněž omezena) a nepropustnou izolací uloženou mezi segmenty (pryžové těsnicí pásky). Segmenty se opatřují žlábkem pro osazení těsnění a musí být zabráněno deformacím této drážky. Těsnění se vyrábí ve tvaru uzavřeného rámu, v ložných a styčných spárách jsou pak dvě těsnění proti sobě. Rohy těsnění jsou při výrobě uspořádány do ostrého rohu (bez zaoblení). Těsnění, které je tvarováno tak, aby se ukotvilo do betonu, je vkládáno do formy jako první. U železobetonových segmentů je třeba těsnění následně ochránit proti poškození při ukládání armokoše. Izola-

ce je stlačitelná, jedná se o elastomerné izolace, které jsou speciálně vyráběny pro segmentové ostění (obr. 4).

Vodonepropustnost ostění je zaručena stlačením izolace mezi segmenty během jejich instalace a je zaručena pro trvalý hydrostatický tlak.

Systém pro spojování segmentů

Spoje jsou instalovány mezi segmenty v podélném a příčném směru z důvodů udržení přípustné tolerance při ukládání segmentů, udržení hydroizolace mezi segmenty ve stlačeném stavu a zajištění stability segmentu během usazování prstence.

Spojovací systémy mají obecně dočasnou funkci. Po dokončení všech injektáží a vzdálení tunelovacího stroje více než cca 200 m, je možné je odebrat. Trvale však musí tyto systémy zůstat v okolí příčných propojek z důvodu udržení trvale stlačené izolace. Životnost všech trvalých spojovacích systémů musí být stejná jako životnost ostění (obr. 4).

ZÁVĚR

Popřejme stavitelům před začátkem prací stejný úspěch, jaký dosáhli francouzští tuneláři při ražbě železničního tunelu u města Saverne v jihozápadní Francii (obr. 5).

Zdař Bůh

Ing. Jiří Mára
Metroprojekt Praha, a. s.
Nám. I. P. Pavlova 1786/2
120 00 Praha
tel.: 296 154 111
e-mail: mara@metroprojekt.cz
www.metroprojekt.cz



Ing. Michal Gramblička
SUDOP Praha, a. s.
Olšanská 1a, 130 80 Praha
tel.: 267 094 323
e-mail: michal.gramblicka@sudop.cz
www.sudop.cz



Ing. Jiří Velebil
Metroprojekt Praha, a. s.
Nám. I. P. Pavlova 1786/2
120 00 Praha
tel.: 296 154 111
e-mail: velebil@metroprojekt.cz
www.metroprojekt.cz



Literatura:

- [1] Projektová dokumentace Modernizace trati Rokycany–Plzeň, DUR, DSP, RDS (2006–2014)
- [2] Obr. 5 Vinci.com/Breakthrough of the first tube of the Saverne tunnel