

SANACE SEGMENTOVÉHO OSTĚNÍ JEDNOKOLEJNÝCH TUNELŮ PRAŽSKÉHO METRA V.A

REHABILITATION OF SEGMENTAL LINING OF SINGLE-TRACK PRAGUE METRO V.A TUNNELS

Petr Hybský¹
Michal Grossmann²

ABSTRAKT

Nedílnou součástí dokončovacích prací tunelových děl je dodatečné těsnění průsaků podzemní vody skrz definitivní ostění tunelů. Vzhledem k tomu, že v posledních letech převažovala v prostředí českého podzemního stavitelství tzv. Nová rakouská tunelovací metoda, vyznačující se dvouplášťovým ostěním s mezilehlou hydroizolací, byly sanační postupy vyvíjeny právě pro tuto metodu.

Spolu s výstavbou pátého provozního úseku trasy A pražského metra došlo k navrácení metody mechanizovaného tunelování do českých luhů a hájů, tentokrát v podobě zeminových štítů. Příspěvek hodnotí a rekapituluje zkušenosti se sanačními pracemi na těsnění tunelového ostění, složeného z prefabrikovaných železobetonových segmentů.

ABSTRACT

Subsequent sealing of underground water infiltrations through definitive tunnel lining is integral part of finalization works during tunnel construction process. With respect to fact, that so called New Austrian tunnelling method distinguished by double layer lining with intermediate waterproofing layer predominated Czech underground construction sector in last period, also rehabilitation procedures were developed for this tunnelling method. Along with construction of fifth operational section of Prague metro Line A return of mechanized tunnelling to Czech “meads and groves” occurred for earth pressure balanced shields. Article deals with evaluation of experience with rehabilitation works of tunnel lining composed from prefabricated reinforced concrete segments.

1 Úvod

Provádění podzemních staveb je zcela unikátní oblastí stavebnictví. Zatímco při návrhu staveb povrchových pracují architekti či projektanti s jimi zvolenými materiály, jejichž charakteristiky jsou dobře známé, musejí stavitelé děl podzemních přizpůsobovat konstrukci i postupy přírodním faktorům a podmínkám, které se v horninovém prostředí nacházejí. Faktorem, který podzemní konstrukce ovlivňuje velmi zásadně, je podzemní voda. Nejen, že má vliv na dílo v průběhu ražeb, tedy v průběhu jeho vzniku, ale ovlivňuje tunel včetně jeho vnitřního vybavení i po dobu jeho provozu.

¹Ing. Petr Hybský, Metrostav a.s., divize 5, Koželužská 2540/4, 180 00 Praha 8, M: +420 724 861 439,
E: petr.hybsky@metrostav.cz, www.metrostav.cz

²Ing. Michal Grossmann, Minova Bohemia s.r.o., Lihovarská 1199/10, 716 00 Ostrava-Radvanice,
T: +420 596 232 801, M: +420 602 709 580, E: michal.grossmann@orica.com, www.minova.cz

Tunelářské metody se v posledních dvou staletích vyvíjejí po dvou základních liniích – jako metody konvenční a metody mechanizovaného tunelování. Liší se nejenom způsobem ražeb, ale i způsobem konstrukce tunelového ostění. U konvenčních metod, reprezentovaných především tzv. Novou Rakouskou tunelovací metodou (NRTM), je ostění dvouplášťové, tvořené vrstvami stříkaného (primární ostění) a litého (sekundární ostění) betonu a mezi nimi sevřenou (mezilehlou) izolací. V případě mechanizovaného tunelování je převažujícím způsobem vystrojení tunelu segmentové ostění z železobetonových dílců. Rozdíl obou typů ostění je zásadní i z hlediska dodatečného těsnění průsaků podzemní vody.



Obr. 1 - Typický pohled na pracoviště, kde probíhaly sanační práce. Pracovní osádka zpočátku tvořili: 1 technik, který práce řídil a dokumentoval, 2 dělníci-specialisté, provádějící injektáže a 1 pomocný dělník pro obslužné činnosti. Po zavedení a nastavení všech pracovních a kontrolních mechanismů již nebyla nutná trvalá přítomnost technika na každém z pracovišť, jako tomu bylo na začátku. Práce probíhaly v nepřetržitém pracovním sledu, současně mohlo být obsazeno až šest pracovišť v jedné pracovní směně.

Fig. 1 - Typical view of workplace where works have been executed. Working crew initially consisted of 1 technician leading and documenting works, 2 workmen – specialists executing injection works and 1 unskilled worker for supporting works. Following start and setup of all working and control mechanisms permanent presence of technician was no longer required at each workplace as was needed in initial stages. Works were executed in 24/7 mode and 6 working places could be engaged in one working shift.

2 Specifika tunelových staveb z hlediska typu ostění

2.1 Specifika tunelu tvořeného monolitickým ostěním

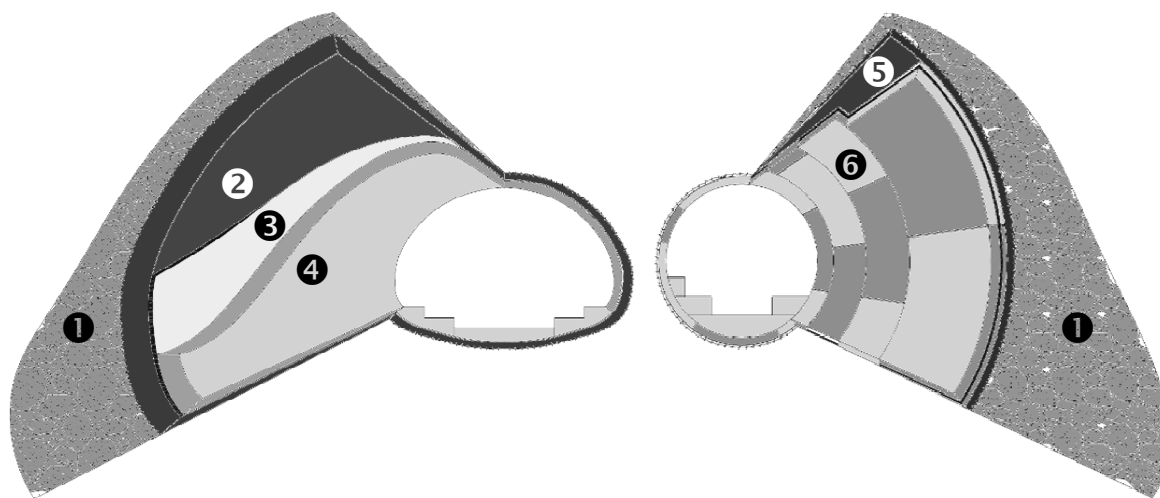
Tunely ražené technologií NRTM jsou primárně vystrojovány ostěním, tvořeným kombinací ocelových rámců a ocelové výztuže spolu se stříkaným betonem. Tato tzv. primární obezdívka je posléze vybavena izolací (fóliovou, případně stříkanou) a následně je po dilatačních pasech betonována obezdívka sekundární, též zvaná definitivní. Kromě izolace samotné se před betonáží definitivního ostění dnes již standardně aplikuje tzv. pojistný systém, což je systém injektážních hadiček, pomocí něhož lze případné průsaky vody

poměrně účinně dodatečně těsnit. Prostor za definitivním ostěním je zároveň rozdělen na sektory, takže prostřednictvím pojistného systému lze injektáž cílit na konkrétní vlhká místa, aniž by bylo nutné provádět do již hotového ostění vrty. Díky rozdělení ostění na dilatační celky tak nehrozí migrace vody za ostěním na dlouhé vzdálenosti.

2.2 Specifika tunelu tvořeného segmentovým ostěním

Ostění složené z prefabrikovaných dílců za svým rubem žádnou izolaci nemá. V prostoru mezi segmenty a horninou se nachází dvoukomponentní výplňová malta, jejímž úkolem je přenos zatížení od okolní zeminy na ostění, která však nemá plný těsnicí účinek. V horninovém prostředí se mohou vyskytovat různé dutiny či kaverny, ať už přírodního původu, nebo vzniklé při ražbě. Za určitých podmínek tak voda nemá vně tunelové trouby žádné bariéry a může tudy volně migrovat. Vodotěsnost tunelové konstrukce tak má zajišťovat vodonepropustný beton segmentů v kombinaci s gumovým těsněním spár.

Segmentové ostění však slouží nejen jako definitivní vystrojení tunelové trouby, ale v průběhu ražby krátkodobě i jako odrážecí konstrukce pro dopředný posun štítu. V takovém okamžiku působí na prstence zcela jiné síly, než jakým je konstrukce vystavena po celou dobu životnosti. Právě napětí, která svým působením vyvolávají tlačné lisy štítu, způsobují v segmentech defekty (obecně je uváděno, že se tak děje v cca 1 % případů). Každá taková porucha je následně potenciální příčinou průsaků podzemní vody do vnitřního prostoru tunelové trouby. Druhým zdrojem průsaků jsou pak netěsnosti gumového těsnění ve spárách segmentového ostění.



Obr. 2, 3 - Charakteristické řezy tunelem raženým technologií NRTM (vlevo) a technologií mechanizovaného tunelování (vpravo), zobrazující rozdílnou skladbu ostění. 1 - výrub, 2 - primární ostění, 3 - mezilehlá izolace, 4 - definitivní ostění, 5 - dvoukomponentní výplňová malta, 6 - skládané ostění z prefabrikovaných segmentů

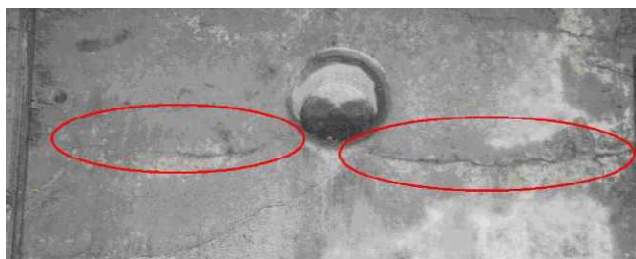
Fig. 2, 3 - Characteristic cross section of NATM mined tunnel (left) and TBM/EPBS driven tunnel (right) showing different structure of lining. 1 - excavation area, 2 - primary lining, 3 - intermediate waterproofing layer, 4 - final lining, 5 - two-component filling mortar, 6 - segmental lining from prefabricates

3 Klasifikace poruch

Prvotním krokem před započítím samotných sanačních prací je podrobné provedení pasportizace poruch. Díky sledování a fotodokumentaci, provedené v průběhu výstavby trasy V.A pražského metra, byly poruchy rozděleny do následujících skupin:

1. Trhliny bez průsaku vody
2. Trhliny s průsakem vody
3. Průsak vody spárou mezi segmenty (přes gumové těsnění spár)
4. Průsak vody šroubovým spojem
5. Průsak vody otvorem pro naváděcí kužel erektoru
6. Ulomené hrany a rohy segmentů
7. Vydrolený beton v ploše segmentů

Pro instalované segmenty neexistuje předpis, který by stanovoval požadavky na kvalitu zabudovaných segmentů z hlediska trhlin. Jelikož vzniklé trhliny a poškození segmentů (typ poruchy 1, 6 a 7) byly pouze kosmetické a nejednalo se v žádném případě o poruchy, které by ohrožovaly statiku konstrukce, byly opravy zaměřeny pouze na poruchy, které způsobovaly průsaky podzemní vody do vnitřního prostoru tunelů (typ poruchy 2 – 5).



Porucha 1 - Trhlina bez průsaku vody



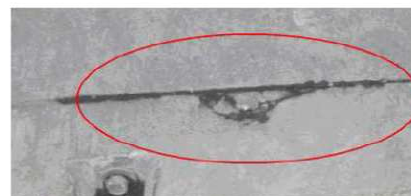
Porucha 2 - Trhlina s průsakem vody



Porucha 3 - Průsak vody spárou, Porucha 4 - Průsak vody šroubovým spojem



Porucha 5 - Průsak vody otvorem pro naváděcí kužel erektoru



Porucha 6 - Ulomené hrany a rohy



Porucha 7 - Vydrolený beton

Obr. 4 - Jednotlivé typy poruch, které byly klasifikovány v rámci sanačních prací segmentového ostění. Poruchy 1, 6 a 7 nakonec do sanace nebyly zahrnuty, protože nepředstavovaly žádné nebezpečí pro stabilitu nebo funkčnost konstrukce ostění.

Fig. 4 - Types of failures classified during rehabilitation works of segmental lining. Failures 1, 6 and 7 were in the end not included in rehabilitation works as these did not represent any danger for stability or functionality of lining structure.

Trasa A pražského metra je téměř v celé své délce vedena podpovrchově. Z toho důvodu nelze podobně jako u silničních či železničních tunelů použít povrchové odvodnění a proto je objednatel dila požadován absolutně suchý tunel, bez jakýchkoli průsaků. Opravy ostění tedy byly zaměřeny výhradně na místa průsaků.

Jak je z výše uvedeného rozdělení poruch patrné, zdroje průsaků jsou v zásadě dvojí:

- trhlinou v segmentu, nebo
- špatně fungujícím těsněním ve spáře.

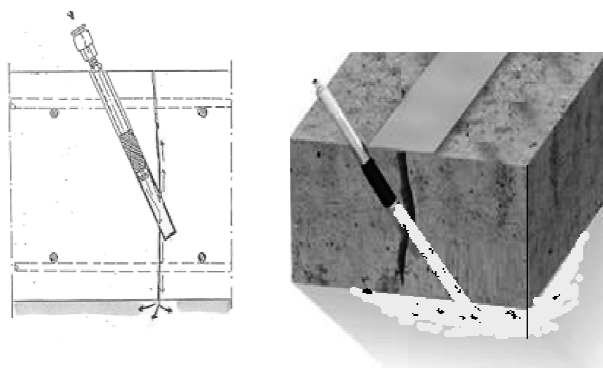
4 Postup oprav

Často se připomíná, že injektážní práce by měly být prováděny u konstrukcí, které jsou ve stavu definitivním, a do kterých již nebude zásadním způsobem zasahováno. Na stavbě takového rozsahu, jakým je trasa metra, taková podmínka splnitelná není. Sanační práce začaly ihned po dokončení ražeb traťových tunelů. Následně však byly mezi oběma traťovými tunely raženy propojky s tím, že u některých bylo horninové prostředí zlepšováno tryskovou injektáží. V samotných tunelových troubách byly v tom samém čase prováděny kolejové betony. Zmíněné práce měly vliv nejen na konstrukci tunelu, ale ovlivnily i chování podzemní vody vně tunelů, což se zpětně projevilo výskytem netěsností u segmentového ostění. Provádění všech pracovních činností se řídilo závazným harmonogramem postupu výstavby, kam však injektážní práce pro utěsnění ostění nebyly zahrnuty a proto musely být realizovány vždy v koordinaci s ostatními činnostmi.

4.1 Opravy trhlin segmentů

Pro stanovení správné metodiky oprav byl v předstihu proveden test na vytipovaných místech tunelu, prezentujících jednotlivé případy popsanych poruch. Velmi důležité bylo rozhodnout, jakým způsobem injektovat trhlinu s průsakem vody. Zdali se pokusit injektážním materiálem vyplnit trhlinu jako takovou a tím ji utěsnit, nebo zda provést injektážní vrt skrz celou tloušťku segmentu a pokusit se vně tunelu vytvořit z injektážního materiálu jakousi „záplatu“. Logickým argumentem pro použití prvně zmíněného postupu je ta skutečnost, že cílem sanace by měla být oprava poškozené konstrukce (v tomto případě segmentu) a nikoli injektáž prostředí za ostěním tunelu. Tento postup by zároveň měl vést k řádově nižším spotřebám sanačního materiálu.

Zkouškami však bylo zjištěno, že důkladné proinjektování trhliny si klade vysoké nároky na počet vrtů a následné osazení pakrů. I přes veškerou snahu je velmi obtížné, možná až skoro nemožné, efektivně proinjektovat celý průběh trhliny tak, aby byla dokonale utěsněná. Vzhledem k počtu poruch na obou, více než čtyři kilometry dlouhých, úsecích traťových tunelů, byl takový postup nerealizovatelný.



Obr. č. 5, 6 - Schémata provádění utěsňujících injektáží.
(Vlevo) Provedení vývrtu do cca 2/3 tloušťky prvku ostění, injektáž a utěsnění vlastní trhliny. (Vpravo) Provedení vývrtu na celou tloušťku ostění, injektáž a utěsnění za rubem konstrukce.

Fig. 5, 6 - Schemes of sealing injections execution. (Left) Executing borehole up to approx. 2/3 of segment thickness, injection works and sealing of crack itself. (Right) Executing borehole completely through lining, injection works and sealing on reverse side of structure.

Jako příhodnější se proto ukázal druhý způsob, kdy se provádí vrt přes celou tloušťku segmentu a utěsnění pomocí injektážního materiálu se realizuje na rubové straně ostění. Ze vzájemného porovnání materiálové, časové a ekonomické náročnosti s dosaženým výsledkem u obou způsobů sanace tak vyplynulo, že injektáž za rub ostění je přes vyšší spotřeby injektážního materiálu pro svou vyšší účinnost a kratší dobu provádění nakonec vhodnější.

4.2 Oprava průsaků přes gumové těsnění

V případě průsaků přes gumové těsnění je možný pouze jediný způsob provedení, a to takový, kdy se vrt provede skrz ostění nebo gumové těsnění a průsak se utěsní na rubu ostění.

4.3 Oprava průsaků šroubovým spojem a otvorem pro naváděcí kužel erektoru

U těchto dvou typů defektů se v průběhu zkoušek nakonec projevilo, že se v podstatě jedná o obměnu případu průsaku vody trhlinou. Proto se i tyto defekty řešily stejným způsobem, tj. utěsněním na rubové straně ostění.

4.4 Výběr vhodného typu injektážního materiálu

Jelikož jsou postupy oprav u všech uvedených poruch v podstatě totožné, bylo nutné zvolit takový materiál, který nejlépe vyhoví danému účelu. To znamená materiál s poměrně krátkou dobou reakce, aby působil co nejbližší místu vrtu/defektu a nebyl do doby ukončení své reakce odplaven. Zároveň je nutné, aby faktor napětí zajistil i jakési vyplnění případných dutin, ale zároveň aby materiál nebyl ve výsledku, vlivem svého vysokého napětí, příliš pórovitý a tudíž i křehký a lámavý. V neposlední řadě bylo nutné přihlídnout k hledisku ekologickému a požadován byl materiál, který má certifikát pro styk s pitnou vodou. Z důvodu splnění všech kritérií byla zvolena dvousložková polyuretanová pryskyřice CarboPur WF.



Obr. 7 - Příklad intenzity výtoku podzemní vody z prostoru za rubem ostění. Takový případ nebyl standardním projevem, vyskytoval se pouze lokálně.

Fig. 7 - Example of water infiltration intensity from area behind lining. Such water inflow was not standard and was presented only locally.

Výběr vhodného typu materiálu musel být proveden také s ohledem na to, že při vlastní realizaci se bylo nutno vyrovnávat s různými okrajovými podmínkami, které mohly negativně ovlivňovat výsledek injektáží. Jednalo se především o riziko měnících se klimatických podmínek v závislosti na ročním období, kdy byly injektáže prováděny. Mohlo by se zdát, že na práce prováděné v podzemí nebudou mít klimatické podmínky podstatný vliv, ale opak

byl pravdou. Druhým, značně proměnlivým faktorem, byly samotné průsaky podzemní vody a jejich intenzita, která se měnila případ od případu. Bylo možné se setkat s malými až neznatelnými průsaky na straně jedné a s přítoky, které svou intenzitou podstatně znesnadňovaly už jenom samotné upnutí pakru do vývrtu. Takto rozdílné podmínky vyžadovaly pochopitelně odlišný přístup, přičemž k dispozici byl, na základě výběru zadavatele, jeden typ injekčního materiálu. Výhodou pryskyřice CarboPur WF je, že umožňuje ve své základní podobě nasazení v široké paletě případů teplot a intenzity přítoků vody, které se vyskytují v injektovaném prostředí. Pro obzvlášť náročné podmínky je možné, pomocí modifikátorů řady CarboAdd, základní charakteristiky pryskyřice zásadním způsobem upravit, a získat tak injekční materiál přímo na míru daným podmínkám. Tato jistá univerzalita pryskyřice CarboPur WF byla podstatnou výhodou při výběru a posuzování vhodnosti pro daný případ.

5 Praktické zkušenosti z provádění injektážních prací

Již během procesu ražeb bylo vypořádováno, že samotná evidence průsaků je poměrně komplikovaná. Ostění je vystaveno výkyvům klimatických jevů a zároveň se důsledkem ražby stanic a traťových tunelů mění hydrogeologické podmínky v okolním horninovém prostředí. Nezřídka se tudíž stávalo, že některé místo se jevílo jako vlhké s prosakující podzemní vodou, které však v průběhu příštích dnů či týdnů samovolně vyschlo. Také se ale stávalo, že stejné místo se s odstupem času stalo znovu aktivním.



Obr. 8 - Utěsňující injektáž průsaku v místě kapsy šroubového spoje.

Fig. 8 - Sealing injection works in pocket for bolt connection.

I samotné injektážní práce měly vliv na migraci vody za ostěním, což mělo za důsledek stěhování průsaků do nových míst. To bylo zřejmě způsobeno tím, že injekční materiál svým nabýváním na objemu porušil jakýsi „rovnovážný stav“ za ostěním, kdy voda za ostěním zřejmě lokálně zvýšila svůj tlak, a výsledkem byl vznik nového místa s průsakem. Některá taková místa mohla opět samovolně vyschnout po znovunabytí rovnovážného stavu za ostěním, u jiných průsak setrval a bylo nutné jej utěsnit. V každém případě recidiva byla velice nepříjemným jevem, který nejen že negativně působil na psychiku pracovníků provádějících injektáže, ale především signalizoval přítomnost nějakého systémového problému. Takže tomuto jevu bylo potřeba věnovat zvýšenou pozornost.

Velmi často docházelo i k situaci, kdy vlivem rozdílných teplot na povrchu a uvnitř tunelu kondenzovala vzdušná vlhkost v podobě vody na povrchu ostění. V tom „lepší“ případě

to lokalizaci skutečných průsaků neskutečně komplikovalo, v tom horším ji zcela znemožňovalo. Vlastní utěšující práce pak za takových podmínek musely být zcela přerušeny, protože se nedal sledovat účinek injektáže, pokud už se defektní místo vůbec podařilo nalézt.

Aplikace zároveň ukázala, že prostor za ostěním pojme poměrně velké množství materiálu. Objednatelem proto byla stanovena restrikce v množství 10 kg na 1 pakr. Po aplikaci stanoveného množství bylo opravované místo sledováno a v případě potřeby se provedlo jeho přeinjektování. Dlouhodobým sledováním se dospělo k výsledku, že v cca 60 – 70 % případů byla injektáž úspěšná hned napoprvé, tzn. že recidiva se pohybovala okolo 30 % případů.

6 Vyhodnocení poznatků a doporučení

Pro úplnost je potřeba uvést, že na injektáže trvale dohlížel poučený technik, který zároveň dokumentoval probíhající práce do protokolů. Postupně, po několikastupňovém zaškolení zvládali tuto činnost i pracovníci, kteří do té doby měli s injektážemi malé zkušenosti. Je ale potřeba mít na paměti, že tento způsob je možno připustit pouze jako krajní variantu v odůvodněných případech, protože injektážní práce jsou specializované činnosti, které by měli výhradně provádět odborně zaškolení a dostatečně zkušení pracovníci.

Nicméně nashromážděné poznatky ukázaly na několik podstatných problémů, kterými se bude nutno do budoucnosti zabývat. A to zvláště v případě, že metoda ražby mechanizovaného tunelování má naději se trvale prosadit i v prostředí českého podzemního stavitelství.

6.1 Zadávací podmínky investora

Za jeden z nejdůležitějších faktorů je nutné považovat to, jakým způsobem jsou ze strany investora zadány technické požadavky na ostění. Pravděpodobně proto, že se zadáváním tohoto typu stavby nejsou zkušenosti, byla podmínka na parametry segmentového ostění stanovena velice striktně. V případě prodloužení trasy metra V.A bylo stanoveno, že: „Ostění bude jednovrstvé montované ze železobetonových dílců, vodonepropustné po celém obvodu. Tolerance nepřesnosti osazení dílců k sobě v podélném a příčném směru musí zaručit bezvadnou funkci těsnících rámečků a nesmí překročit hodnotu ± 10 mm.“

Ačkoli bylo kritérium na přesnost osazení segmentů ve většině případů dodrženo, ani tak nebyla zaručena bezvadná funkčnost těsnění mezisegmentových spár. Podle našeho názoru by vhodnějším způsobem, který by se podstatně více blížil realitě, bylo stanovení takových podmínek, které připouštějí průsaky dovnitř tunelu, ale které by byly přesně definovány. Tento způsob, kdy jsou přesně stanoveny limitní hodnoty průsaků vztahované na délkovou jednotku tunelu, je již dnes v zahraničí používán.

Je pochopitelné, že s takto definovaným zadáním nevzniká problém u železničních tunelů, kde je možné vodu z průsaků jímat drenážemi a následně ji odvést mimo objekt tunelu. V případě objektů trasy metra to tak snadné není, protože většina objektů se nachází hluboko pod úrovní okolního terénu a odvedení nashromážděné vody by bylo možné jedině nuceným čerpáním. Což pro provozovatele znamená trvalé náklady, kterým se chce logicky vyhnout.

6.2 Materiály pro výrobu segmentů

Pro výslednou vodotěsnost zabudovaného ostění mají použité materiály pro výrobu segmentů rozhodující význam. Stejně důležité jsou samozřejmě i následné činnosti jako transport z výroby na staveniště, přesná montáž ostění a kvalita vyplnění prostoru mezi ostěním a výrubem, ale výběr vhodných materiálů a přesnost prefabrikované výroby jsou do jisté míry rozhodující.

S tím souvisí i výběr správného typu těsnicího profilu pro těsnění mezisegmentových spár. Plošná vodonepropustnost ostění je zajištěna vlastním betonovým segmentem, který pokud není porušen trhlinami, plní svou funkci bez problému. Bezchybná funkce těsnění je však zcela závislá jednak na zvoleném typu profilu, na jeho instalaci na segment ve výrobě a následně na vlastní montáži segmentu do ostění.

Bylo vypořádováno, že zpočátku byly převládajícím zdrojem průsaků defekty v segmentech. S postupujícími sanačními pracemi docházelo k migraci prosakujících míst, avšak v stále větší míře v netěsnících spojkách.

V případě pražského metra bylo zvoleno těsnění instalované dodatečným lepením do drážek po obvodu segmentu. Do budoucna se počítá s použitím integrovaného těsnění do segmentu, které se instaluje do formy ve fázi výroby prvků na výrobní lince. V budoucnu bude zajímavé porovnání obou typů těsnění a zhodnocení jejich funkčnosti.



Obr. 9 - Pohled na prvky segmentového ostění, tzv. tybinky. Patrné je gumové ostění po obvodu každého z prvků, zde lepené do drážky. Otvory na hranách jsou montážní, kterými prochází šrouby. Roznášecí podložky mezi otvory šroubového spoje (viz spodní segment) pomáhají roznést bodové zatížení od přitlačných lisů tunelovacího stroje do celého segmentu.

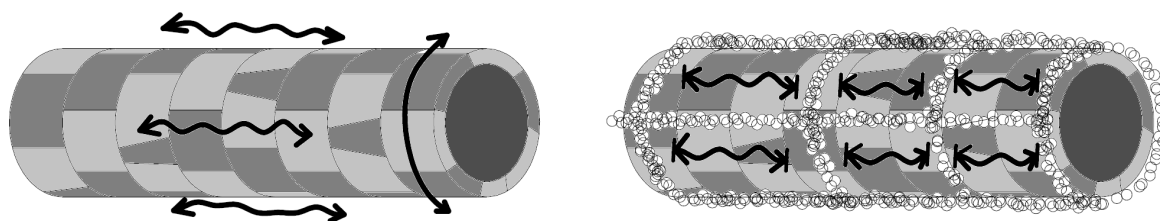
Fig. 9 - View of segmental lining, so called tubbings. There is visible rubber gasket along each member (in given case bonded in groove). Holes on the edges are used for assembly where connection bolts are inserted.

6.3 Technologie utěšňujících injektáží

Zásadním poznatkem z realizovaných utěšňujících injektáží se stal případ přesouvání průsaků z již zainjektovaných míst do nových pozic v ostění. Jednou z možných příčin tohoto jevu bude schopnost podzemní vody migrovat podél trasy tunelu, což zcela znemožňuje nějakou kontrolu nad tím, co se za ostěním děje. Proto se začíná uvažovat o variantě vytvoření podobného mechanismu jako v případě tunelů s monolitickým ostěním, kdy mezilehlá hydroizolace je rozsektorována na navzájem nezávislé úseky, které je možno jednoduše kontrolovat. V případě tunelů se segmentovým ostěním je možné na jeho rubu vytvořit dělicí přepážky, jakési prstence po obvodu celého profilu tunelové trouby, a tím vymezit jednotlivé úseky. Dělicí přepážky (v zahraničí nazývané Cut-off membrane) se provádějí injektáží, a jako nejvhodnější materiál se používají materiály s vysokým faktorem napětí a velmi rychlou reakční dobou, které mají schopnost zastavovat a utěšňovat i velké přítoky podzemní vody.

Provádění těsnících přepážek by mělo být do jisté míry systémové, především v rizikových místech, tzn. v oblastech s přítoky podzemní vody, v místech s kavernami nebo dutinami, případně v místech s problematickými stavebními detaily, jako jsou přechody mezi stanicemi či jinými technickými objekty tunelu. Tato místa by se vytipovávala na základě podrobného sledování a pečlivé dokumentace v průběhu ražeb.

Vytvořením oddělených úseků by se jednak dosáhlo odclonění problematických úseků od těch, které nevykazují žádné problémy, a za druhé by se vytvořilo v podstatě „ztracené bednění“ pro následné výplňové a utěšňující injektáže.



Obr. 10, 11 - Princip vytvoření těsnících membrán za rubem ostění. (Vlevo) Tunelová trouba bez těsnících membrán – voda může vně ostění všesměrně proudit. (Vpravo) Injektáží vytvořené rozsektorování (tzv. Cut-off membrane) – vodě je znemožněno nekontrolované proudění podél tubusu tunelu.

Fig. 10, 11 - Principle of creating sealing membranes on reverse side of lining. (Left) Tunnel tube without sealing membranes – water can flow in any direction around lining. (Right) Cut-off membrane done using grouting works – prevents uncontrolled flow of water along the tunnel tube.

7 Závěr

Metoda mechanizovaného tunelování se do České republiky vrátila po velmi dlouhé době, navíc v modernizované, technicky vyspělejší podobě. Proto není možné v určitých oblastech čerpat z předchozích zkušeností. Vlastní proces poznávání principu chování tunelové stavby s železobetonovým segmentovým ostěním je dlouhodobý a v případě trasy V.A pražského metra vlastně doposud neskončil. Na začátku roku 2015 byla trasa předána investorovi do fáze ověřovacího provozu, takže doposud nejsou žádné poznatky z chování díla ve fázi provozu. Na ty si budeme muset teprve počkat. Zároveň se otevírá další možnost ke sběru poznatků, protože na začátku února 2015 bude zahájena dlouho očekávaná ražba tunelů Ejpovice v rámci projektu Modernizace trati Rokycany – Plzeň. Počítá se s tím, že na těchto dvou jednokolejných tunelech, o celkové délce 2 x 4150 m, budou již některé z výše uvedených poznatků a doporučení aplikovány.

Použitá literatura

GROSSMANN Michal. *Opravy poruch segmentového ostění : Výstavba trasy Metro V.A (Dejvická – Motol). Závěrečná zpráva.* Minova Bohemia. Ostrava, 01/2012.

NAJDER Tomasz. *Method Statement for Underground Construction – line V.A (Dejvická – Motol) in Prague – proof Grouting.* Najder engineering. Stockholm, 12/2011.

NAJDER Tomasz. *Recommendations for concrete repairs of linings based on trials 2012.01.12.* Najder engineering. Stockholm, 02/2012.

HYBSKÝ Petr, GROSSMANN Michal, *Sanace tunelového ostění z železobetonových segmentů při výstavbě trasy metra V.A.* Sborník konference Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2015. Vydal: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava: Ostrava, 2015. 230 s. ISBN 978-80-248-3672-0