

ZAMEDZENIE PRIESA KOV CEZ OSTENIA STARŠÍCH TUNELOVÝCH STAVIEB S POUŽITÍM CHEMICKÝCH INJEKTÁŽÍ

AVOIDING SEEPAGES THROUGH OLDER TUNEL LININGS WITH USING CHEMICAL GROUTING TECHNOLOGY

Marián Caban¹

ABSTRAKT

Zamedzenie prieniku vody cez ostenia podzemných stavieb staršieho dáta je technologicky náročný sanačný zásah vytvárajúci dodatočnú hydroizoláciu. Vždy je potrebný individuálny prístup vo vzťahu k okrajovým podmienkam tej ktorej podzemnej konštrukcie. Obzvlášť aktuálnou je táto problematika v oblasti tunelových stavieb, kde presakujúca voda komplikuje prevádzku a znižuje životnosť konštrukcií. Keďže história masívnej výstavby tunelov na Slovensku siaha do obdobia prelomu 19. a 20. storočia (kedy sa budovali železničné koridory), je zrejma potreba rekonštrukcií týchto de facto historických objektov.

ABSTRACT

Avoiding water penetration through the linings of older underground structures is technologically demanding job which forming additional waterproofing. It always requires an individual approach regarding to the different boundary conditions of the specific underground constructions. Particularly topical is the issue of tunnel structures where seepages complicated operation and reduce the life of the structures. As the history of massive building tunnel constructions in Slovakia began at the turn of the 19th and 20th centuries (when the rail corridors were built), consequently it is required to reconstruction of these de facto historic structures.

1 Úvod

Pri tunelových objektoch s nízkym nadloží, či tektonicky porušenom nadložnom horninovom masíve v kombinácii s výdatnými zrážkami dochádza k akumulácii a následnému transportu presiaknutej vody až ku konštrukcii ostenia tunela. Voda svojím pôsobením degraduje materiál tunelového ostenia v čase. Nakoľko u veľkej väčšiny týchto stavieb bola v ostení použitá kamenná výmurovka z tzv. kopákov, ktoré sú mnohokrát v dobrom stave, týka sa táto degradácia hlavne spojiva ložných a styčných špár v murive. Zhoršenie vlastností spojiva spôsobuje narušovanie stability ostenia, následkom čoho môže dôjsť k jeho deformácii prípadne až k deštrukcii. Keďže použitie cementových resp. cementobentonitových injektáží na aplikácie tohto typu sa historicky ukázalo veľmi často ako problematické, vznikla potreba zmeny technologického postupu. V súčasnosti disponujeme inovatívnymi technológiami a materiálmi, ktorými je možné efektívne zabezpečiť utesnenie ostenia a zároveň jeho spevnenie. Jedná sa o technológiu plošnej injektáže, s použitím dvojzložkovej polyuretánovej injekčnej živice CarboPur WF. Technológia plošnej injektáže bola v nedávnej minulosti použitá pri rekonštrukciách troch tunelov na Slovensku:

¹Ing. Marián Caban, Minova Bohemia s.r.o., organizačná zložka, Dlhá 923/88B, 010 09 Žilina, tel.: +421 41 5623281, e-mail: marian.caban@orica.com

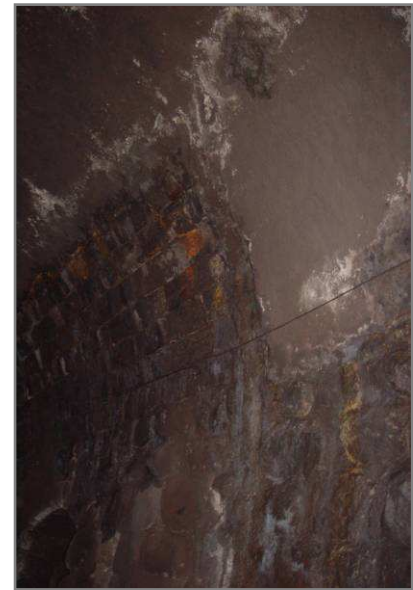
Bratislavský tunel č. II. (Lamačský tunel č. II), Bratislavský električkový tunel (Tunel pod hradom) a Banskobystrický tunel (Kačický tunel).

2 Základné údaje o objektoch

V čase budovania predmetných podzemných stavieb bola hydroizolácia realizovaná spravidla len na miestach, kde už v čase výstavby dochádzalo k prienikom vody do tunelovej rúry. V zmysle dostupných historických záznamov boli na tento účel používané asfaltové dosky s olovenou vložkou, ukladané na omietku (poter), lepené horúcim asfaltom a chránené tehlovou obmurovkou. Medzera medzi výlomom a obmurovkou sa vyplňovala kamennou rovnaninou (zakládkou). Odvodnenie bolo riešené zo zóny kamennej rovnaniny pomocou zvodníc s otvormi v päte opôr a systémom odvodňovacích rúrok zaústnených do stredovej stoky. Murivo opôr sa realizovalo z nepravidelne opracovaného lomového kameňa, klenby z klenákov. Dĺžka tunelových pásov a hrúbka muriva v oporách a klenbách býva premenlivá, v závislosti na geologických podmienkach v priebehu ražby (zabezpečenie výrubu výdrevou).

Bratislavský tunel č. II. (Lamačský II.)

Výstavba Bratislavského tunela č. II bola zahájená 15. decembra 1900 anglickou metódou (upravená rakúska metóda), potom ako bol zrealizovaný neúspešný pokus o rozšírenie tunela č. I z roku 1848 na dvojkoľajný. Tunel č. II s dĺžkou 595,870 m bol uvedený do prevádzky už v roku 1902. Horninové prostredie v nadloží tunela je charakterizované ako stredne zrnitá žula silne tektonicky porušená. V milonitových zónach dochádza k hromadeniu presiaknutej vody.



Obr. 1 Lamačský portál Bratislavského tunela č. I a II. a skutkový stav tunelového ostenia
Fig. 1 Lamačský portal of Bratislava tunnel No. I and II and tunnel lining situation

Zrážkové vody sa vzhľadom na veľkú puklinatosť nadložnej horniny v tunelovej rúre rýchlo prejavujú jej značným zavodnením. Výška nadložia sa pohybuje v intervale od 8 do 16 m. Tunel je členený na 77 tunelových pásov (vrátane portálových). Murivo v jeho oporách je vyhotovené z nepravidelne opracovaného lomového kameňa - tvrdšej stredne zrnitej žuly. Vrchná i spodná klenba je vyhotovená z opracovaných kvádrov z mäkkších druhov kameňa ako vápenec, trachyt, porézny travertín a zlepenec.

Banskobystrický tunel I. (Kačický tunel)

Tunel dlhý 350 m, prvý v poradí na trati Banská Bystrica – Čremošné, vybudovaný v roku 1938. Nachádza sa priamo v Banskej Bystrici medzi mestskými časťami Rudlová a Kostiviarska. Nadložie tunela vysoké od 7,5 do 17,7 m je tvorené pokryvnými vrstvami súdržných zemín na tektonicky porušenom vápencovom masíve s vrstvami ílov a ílovitých bridlíc. Ostenie tunela je členené na 44 tunelových pásov (vrátane portálových). Skladba materiálu ostenia (najmä v oporách) sa po dĺžke tunela mení – čiastočne opracovaný lomový kameň v celom obvode striedajú betónové opory s klenbami z klenákov. Rekonštrukcia tunela bola vyvolanou investíciou, nakoľko trasa severného obchvatu Banskej Bystrice, realizovaného v rámci II. balíka PPP projektov križuje Kačický tunel, z čoho vyplynula potreba vybudovania nových stavebných objektov v nadloží.



Obr. 2 Bystrický portál Banskobystrického tunela a skutkový stav tunelového ostenia
Fig. 2 Bystrický portal of Banskobystrický tunel and tunnel lining situation

Bratislavský električkový tunel (Tunel pod hradom)

Najmladší z trojice sanovaných tunelov bol vybudovaný v rokoch 1943 až 1949, pôvodne ako cestný tunel v dĺžke 791,7 m. Od roku 1983 sa však používa v rámci liniek MHD Bratislava pre potreby električkovej prepravy. Nadložie tunela je tvorené žulovým masívom, tektonicky porušeným. V tektonických poruchách a puklinách spôsobených zvetrávaním sa hromadí presiaknutá povrchová voda, ktorá vytvára zvodnené zóny v priestore za ostiením tunela. Nahromadená voda následne presakuje zdegradovaným spojivom muriva ostenia až do tunelovej rúry a spôsobuje problémy najmä počas zimnej prevádzky (premrázanie, cencúle nad gabaritom). Ostenie tunela je členené na 82 pásov dĺžky od 5 do 10 m a tvorené čiastočne opracovaným lomovým kameňom v rôznych hrúbkach, závislých od geologických pomerov počas ražby tunela.

3 Skutkový stav a rozsah opráv v tuneloch

Rozsah rekonštrukčných prác v predmetných tuneloch bol stanovený na základe stavebno-technického stavu jednotlivých tunelových pásov. V Bratislavskom tuneli č. II a Bratislavskom električkovom tuneli prebiehali v tom čase komplexné rekonštrukcie, v rámci ktorých bola injektáž najviac zavodnených tunelových pásov popri hlavných stavebných prácach doplnkovým sanačným opatrením. Rozsah hlavných stavebných prác ako boli rekonštrukcia železničného zvršku, zvodníc v ostení tunela, potrubných systémov či reprofilácia resp. plombovanie tunelového ostenia, však nebudem v príspevku podrobnejšie rozvádzať. Pozornosť bude sústredená na stavebno-technický stav ostení predmetných tunelov ako hlavnú okrajovú podmienku pre zamedzenie priesakov do týchto stavieb, s použitím technológie plošnej injektáže živicom na polyuretánovej báze – CarboPur WF.

Projekt rekonštrukcie Bratislavského tunela č. II (Lamačský II) konštatuje zlý technický stav ostenia tunela. Degradácia vplyvom presakujúcej vody sa týka hlavne spojiva ložných a styčných špár muriva. Na nosnej konštrukcii vodou intenzívne dotovaných pásov sú zjavné značné poruchy. Tieto boli pred elektrifikačnými úpravami tunela lokálne opravované torkrétom, ktorý v čase zdegradoval, následkom čoho sa drobí a vypadáva. V rámci predprojektovej prípravy sa podrobnou pasportizáciou zatriedili priesaky vody v príslušných tunelových pásoch. V pásoch, kde bol priesak charakterizovaný ako plošný, s výskytom sústredených výtokov vody, bola projektom navrhnutá dvojstupňová plošná chemická injektáž. Konkrétne v rámci II. A etapy komplexnej rekonštrukcie sa jednalo o injektáž pásov č. 20 až 25, 53 až 56, portálový pás a čelo Lamačského portálu.



Obr. 3 Dunajský portál Bratislavského električkového tunela a skutkový stav tunel. ostenia
Fig. 3 Dunajský portal of Bratislava tram tunnel and tunnel lining situation

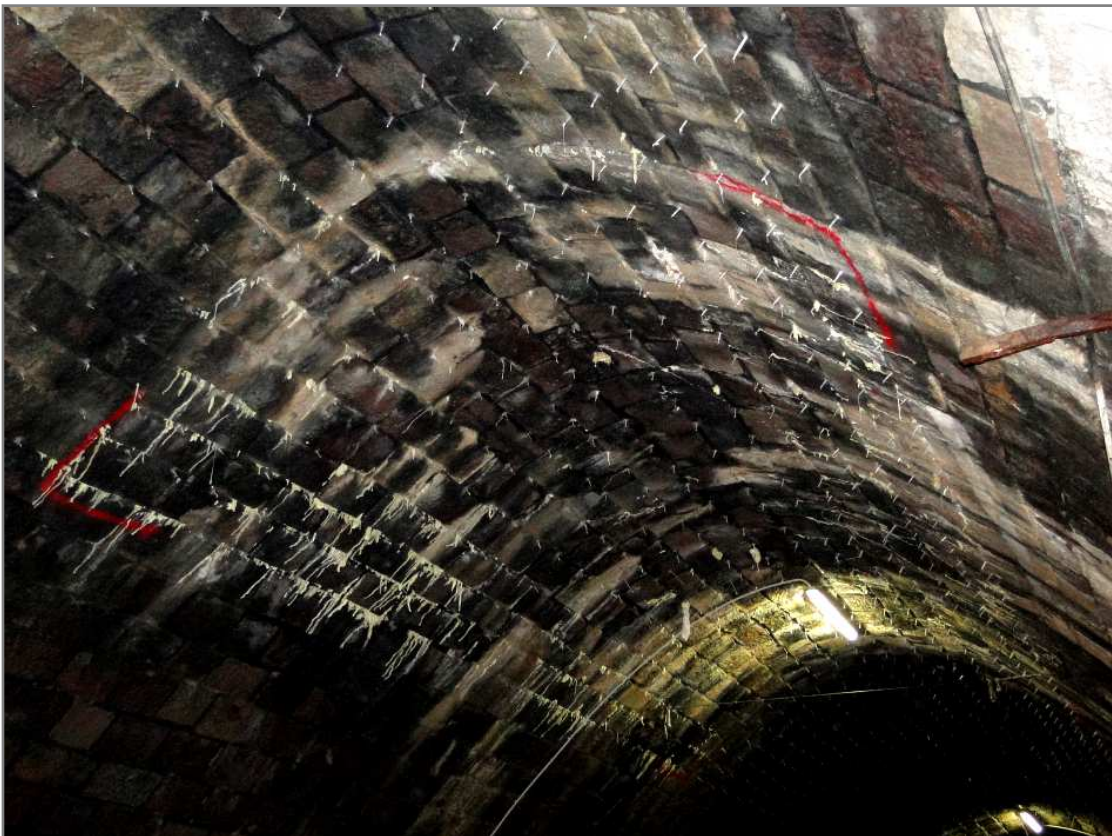
V Bratislavskom električkovom tuneli, na rozdiel od Lamačského č. II., neboli v rámci pasportizácie zistené závažné poruchy v ostení z ryolitových kopákov. Priesaky vody v najviac zavodnených pásoch vyplývali z nefunkčnosti pôvodnej hydroizolácie a z degradácie spojiva v murive. Priesaky v najviac zavodnených tunelových pásoch boli klasifikované známku 2, miestami až 3, t.j. plošné priesaky s odkvapkávaním vody v sekundových intervaloch, lokálne vo forme dažďa. V závislosti na úhrne zrážok v sledovanom období sa menila aj intenzita priesakov vody do tunelovej rúry s časovou retardáciou, spôsobenou jej akumuláciou a transportom nadloží. Cieľom injektáže, v kombinácii s odvodňovacími vrtmi, bolo v pásoch dotovaných vodou znížiť intenzitu

priesakov v klenbe tunela na minimum. Tým by sa dosiahla bezpečná zimná prevádzka bez vytvárania cencúľov v gabarite a ochrana novovybudovaného betónového zvršku pred lokálnou degradáciou vplyvom sústredeného pôsobenia kvapkajúcej vody.

Banskobystrický tunel ponúkol mierne odlišný pohľad na stavebno-technický stav ostenia, čo primárne vyplýva z jeho skladby. V miestach prieniku vody do tunelovej rúry bol betón opôr ostenia značne zdegradovaný a bolo potrebné pristúpiť k sanácii vystuženým torkrétom. Tej však predchádzalo utesnenie a spevnenie ostenia plošnou injektážou zavodnených pásov v miestach klenieb, ale aj betónových opôr.

4 Technológia plošnej injektáže

Primárnou funkciou plošnej chemickej injektáže v ostení tunela je vytvorenie nepriepustnej clony a tým zabránenie vnikaniu vody do tunelovej rúry. Sekundárnym efektom, s ktorým sa v týchto prípadoch počíta, je spevnenie ostenia, nakoľko vytvrdnutá polyuretánová živica má okrem svojej tesniacej funkcie aj vynikajúce pevnostné parametre. Na každý zo sanovaných tunelov bol vypracovaný samostatný technický návrh pre zamedzenie priesakov cez ostenie. Technológia injektáže bola vo všetkých prípadoch modifikovaná a prispôbena IN SITU za účelom dosiahnutia čo možno najvyššej účinnosti vzhľadom na typ a materiál ostenia v konkrétnom tuneli.



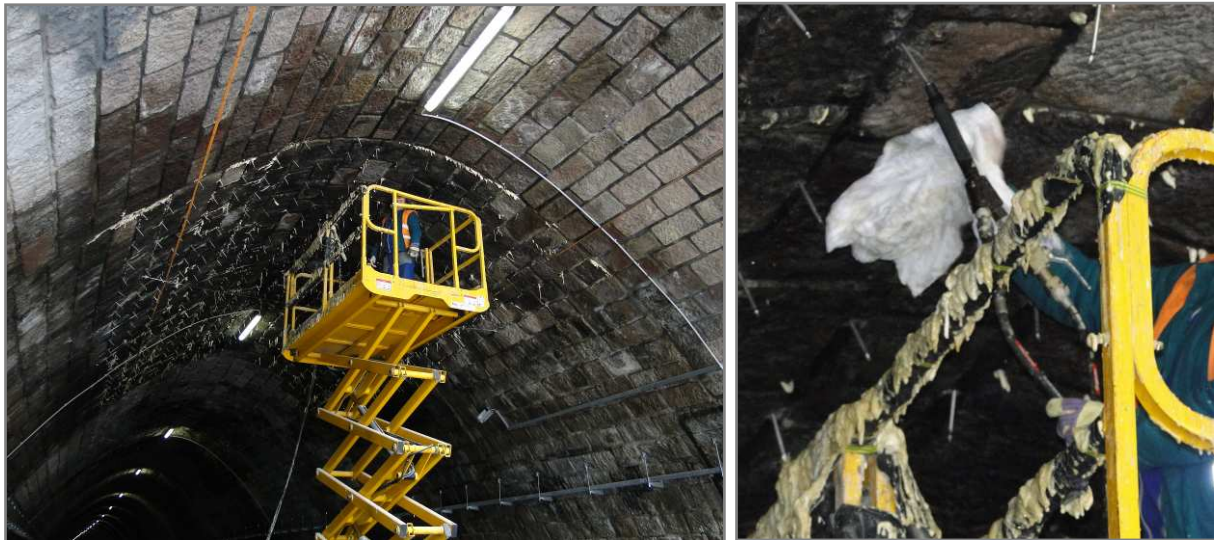
Obr. 4 Prevedená skúšobná injektáž pásu č. 33 v Bratislavskom električkovom tuneli
Fig. 4 Executed attempted grouting of tunnel segment No. 33 in Bratislava tram tunnel

Obece však návrh injektáže spočíva v realizácii šachovnicového rastra injekčných vrto v priemeru napríklad 14 mm resp. 10 mm v ústí zväčšených na priemer 14 mm z dôvodu upnutia injekčných obturátorov napr. 13/115, 13/150, 13/300 podľa dĺžky injekčných vrto. Realizácii samotných vývrtov predchádza príprava podkladu so zapravením prípadných hrubých trhlín či škár, z dôvodu zamedzenia masívnych únikov injekčného média. Výberu

vhodného injekčného materiálu je potrebné venovať významnú pozornosť s ohľadom na okrajové podmienky prostredia, v ktorom injektáž vykonávame (napr. množstvo, teplota presakujúcej vody, hrúbka a materiál konštrukcie). Po zvážení uvedených okolností je k dispozícii veľmi široká škála jedno a viac komponentných injekčných materiálov na chemickú bázu. Pri aplikáciách plošnej injektáže tunelových ostení je používaná a v praxi úspešne overená dvojzložková polyuretánová injekčná živica CaroPur WF. Jedná sa o injekčný materiál, ktorý je svojim tesniacim účinkom, pevnostnými parametrami, dobou reakcie, príľnavosťou k podkladu ako aj stupňom napnenia navrhnutý ako optimálna voľba pre daný účel. Zložky A a B materiálu CarboPur WF sú dopravované pomocou špeciálneho dvojzložkového injekčného čerpadla a dávkované v objemovom pomere 1:1. Injekčná živica CarboPur WF na styku s vodou reaguje hydrofóbne a tlakovým vyplnením trhlín, špár a pórov vytvára bariéru presakujúcej vode.

5 Realizácia sanačných prác

Zhotoviteľom rekonštrukčných a injektážnych prác v predmetných tuneloch bola firma SLOVENSKÉ TUNELY a. s., Bratislava. Realizácia sanačných prác v železničných tuneloch (Lamačský II., Banskobystrický I.) prebiehala z dvojetážovej pracovnej plošiny, umiestnenej na súprave nákladných plošinových vozňov. V Bratislavskom električkovom tuneli bola použitá samohybná nožnicová pracovná plošina. Takto pripravené pomocné konštrukcie umožnili realizáciu vrtacích a injekčných prác po celom obvode klenby a časti opôr. Injekčné práce sa realizovali v nočných výlukách resp. pri odstávkach tunelov pomocou dvojzložkového injekčného čerpadla DV 97.



Obr. 5 Injektáž v Bratislavskom električkovom tuneli detailom rastra a injekčnej pištole
Fig. 5 Grouting works in Bratislava tram tunnel with details of raster and injection gun

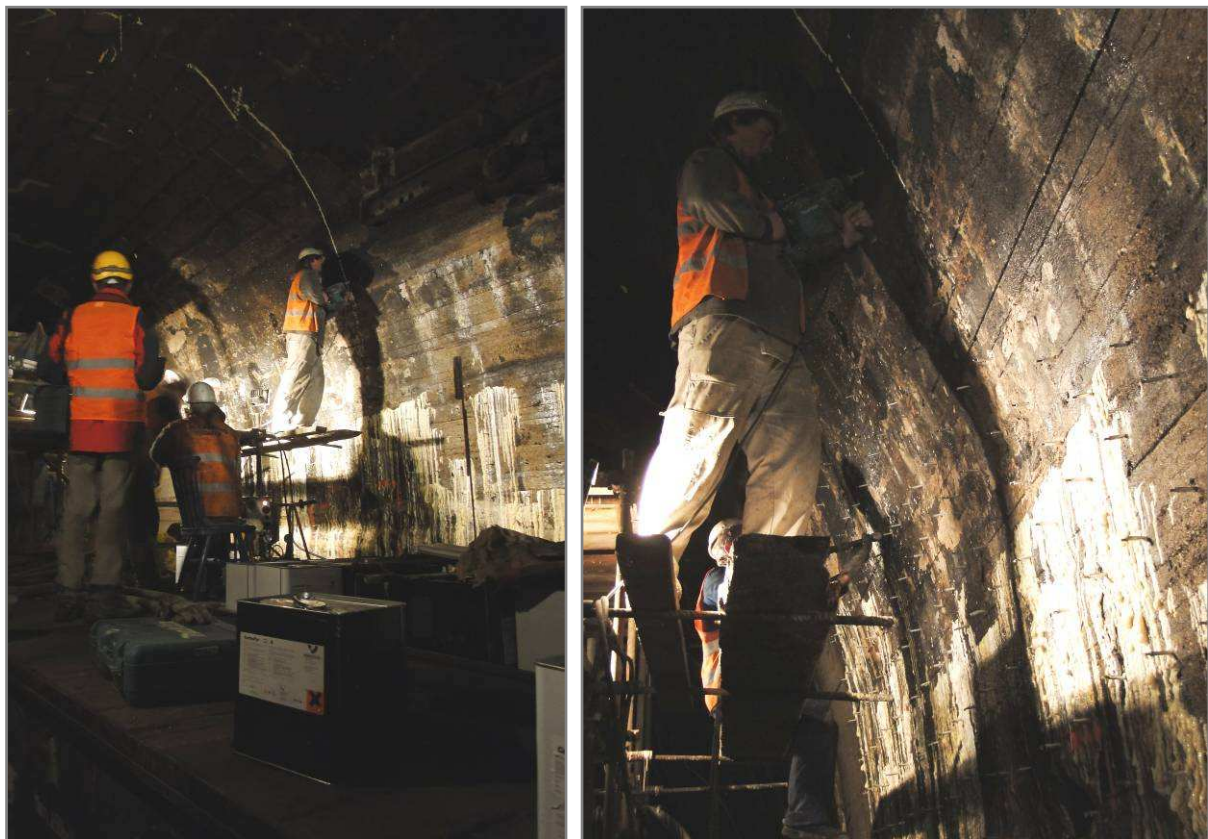
Bratislavský tunel č. II. (Lamačský II.)

Vzhľadom na hrúbku ostenia a za účelom minimalizácie spotreby injekčných hmôt, bola navrhnutá metóda dvojstupňovej injektáže. Jej technológia spočívala v prvotnom zainjektovaní prvého stupňa injektáže, cieľom čoho bolo uzavretie pomyslenej clony v konštrukcii tunelového ostenia. Po vytvrdnutí injekčného média sa zrealizoval raster vrtovej druhej stupňa injektáže (zahustenie rastra), s následným zainjektovaním. Výhodou využitia tejto technológie bola predovšetkým skutočnosť, že druhý stupeň injektáže dotesnil injekčnú clonu a injekčné médium nemalo tendenciu unikať za rub konštrukcie. V priestore aplikácie

vyplnilo ložné a styčné škáry muriva ostenia, čím zabezpečilo svoju primárnu funkciu utesnenia a sekundárnu funkciu spevnenia.

Bratislavský električkový tunel (Tunel pod hradom)

S ohľadom na charakter priesakov, hrúbku a skladbu ostenia boli navrhnuté dva technologické postupy injektáže – zárubňová injektáž do základky (priestor medzi výlomom a ostentím) a plošná injektáž ostenia. Pre dosiahnutie maximálnej účinnosti injektáže a súčasne požiadavke na minimalizáciu nákladov bolo doporučené prevedenie skúšobných injektáží na vytipovaných zavodnených klenbách tunelových pásov. Plošná injektáž bola pre svoju menšiu náročnosť odskúšaná ako prvá v poradí a veľmi dobre sa osvedčila. Z dôvodu obmedzených finančných zdrojov bola injektáž živicom CarboPur prevedená len v klenbách nad gabaritom najviac zavodnených tunelových pásov č. 3a, 3b, 4, 8b, 31 až 34. Po aplikácii a zmene režimu presakujúcej vody sa na ostentí niektorých injektovaných pásov objavili malé lokálne priesaky, ktoré bolo potrebné doinjektovať. Na lokalizáciu týchto miest bola použitá technológia rýchleho vysušovania ostenia pomocou plynových teplovzdušných agregátov. Po vysušení ostenia boli priesaky jednoducho identifikované a následne utesnené reinjektážou.



Obr. 6 Plošná injektáž v Banskobystrickom tuneli
Fig. 6 Grouting works in Banskobystrický tunnel

Banskobystrický tunel I. (Kačický tunel)

Realizoval sa ako posledný v poradí. Klenby z klenákov v najviac zavodnených tunelových pásoch (výklenkoch) sa injektovali obdobne plošnou chemickou injektážou, ktorá opäť preukázala svoju účinnosť. Mierne komplikácie sa vyskytli počas injektáže betónových opôr, avšak modifikáciou dĺžky vrtov a injekčného rastra sa ich podarilo utesniť. Betónové opory bolo možné následne bez ťažkostí reprofilovať.

6 Záver

Výsledkom vzájomnej spolupráce medzi investormi, zhotoviteľom a technologickým tímom Minovy Bohemia bola úspešná realizácia požiadavky na utesnenie priesakov cez ostenia predmetných tunelov. Cieľom injekčných prác je obvykle eliminovať priesaky cez ostenie do takej miery, aby nespôsobili prevádzkové problémy pri užívaní stavby a zároveň predlžovali jej životnosť. Optimalizáciou technológie injekčných prác pre konkrétny typ tunelového ostenia, v kombinácii s vhodným umiestnením odvodňovacích vrtov, je možné maximalizovať účinnosť sanačného zásahu. Vhodnosť použitia navrhnutých sanačných technológií dokumentuje fakt, že po aplikácii plošnej injektáže dvojzložkovou polyuretánovou živicom CarboPur WF, došlo k výraznej eliminácii priesakov cez injektované tunelové pásy Lamačského tunela č. II., Banskobystrického tunela č. I. a Bratislavského električkového tunela. Na základe uvedeného je zrejmé, že technológia plošnej chemickej injektáže opätovne potvrdila svoju vysokú účinnosť pri utesňovaní a spevňovaní ostení tunelových stavieb.