

INJEKTÁŽE – ÚČINNÁ METODA SANACE PODZEMNÍCH KONSTRUKCÍ, ODSTRANĚNÍ KAVEREN ZA OSTĚNÍM STOKY V PRAZE–LIBNI ■ GROUTING – AN EFFECTIVE METHOD FOR REMEDIATION OF UNDERGROUND STRUCTURES, REMOVING CAVERNS FROM OUTSIDE OF SEWER LINING

Jaroslav Chabr, Pavla Matulová

Cílem příspěvku je prezentovat konkrétní příklad z praxe řešící odstranění kaveren za ostěním stoky E v ulici Povltavská v Praze 8. ■

A concrete example of the practice of addressing the removal of cavern and cavity for lining the sewers in the E Street Povltavská in Prague 8 is presented in this paper.

Pro dlouhodobou životnost podzemních děl je nezbytné, aby okolní zemina byla kompaktní, bez dutin. Dutiny můžeme zjednodušeně rozdělit na dutiny primární, kdy např. po vyražení jednotlivých úseků tunelu a uložení obezdívky zůstává mezi obezdívkou a výrubem mezera, kterou je třeba vyplnit, a dutiny sekundární, které mohou vzniknout v důsledku různých procesů probíhajících v průběhu používání podzemního díla v jeho okolí a které mohou ohrožovat jeho funkčnost nebo stabilitu. Příčinou je zejména odplavení méně soudržné zeminy v důsledku zvýšení hladiny podzemní vody, významnou roli v tomto procesu hraje povodně.

Velmi účinnou a mnohdy jedinou metodou sanace poruch (trhlin i povrchů) podzemních konstrukcí je provedení injektáže médiem s výrazně lepšími fyzikálními vlastnostmi, než má stávající materiál. Nové materiály se stávajícími vytvoří kompozit, který je schopen odolávat vlivům používání, prostředí i času. Zdokonalené injektážní strategie a pokročilé nové hmoty usnadní vlastní sanaci podzemních konstrukcí při zohlednění nárůstu kvality a jeví se jako vhodný trend v sanačních technologiích.

Počátky injektážních prací spadají již do začátku 19. století, kdy Francouz Berigny předložil svůj vynález (1802) na utěsnění podloží v jezu v Dieppe. Postupem času se technologie injektáží stále zdokalovala. V 60. letech byla vyvinuta metoda tryskové injektáže, která umožnila tvorbu tenkých těsnících pažicích a konstrukčních podzemních stěn a to v zeminách nesoudržných ale i skalních horninách (v ČR byla trysková injektáž poprvé použita v roce 1979 při utěsnění přehrady Jo-



sefův Důl) [1]. Moderní způsob zakládání je dnes bez použití injektování nesoudržných zemin nemyslitelný.

Injektáž slouží k utěsnění a zpevnění injektovaného prostředí, kterým mohou být skalní horniny, šterkovité a písčité zeminy, zdivo podzemních stavebních konstrukcí, betonové konstrukce, násypy, výdutě a kavery.

Injektováním rozumíme vtláčování tekutých směsí o proměnlivé viskozitě, které po čase zatvrdnou, do podloží či dutin nebo rozrušené konstrukce. Tím se dosáhne zpevnění nebo utěsnění, případně zpevnění i utěsnění současně. Injektážní směsí nebo jejím smícháním s injektovaným materiálem vznikne kompozit upravený na požadované fyzikální vlastnosti. **Injektáží lze úspěšně zajistit trvalou polohu podzemních objektů, zastavit jejich nežádoucí pohyby nebo objekty rektifikovat do požadované polohy.**

Volba injektážní látky, ale i volba technologie injektáže jsou limitované geologickými podmínkami a požadovaným účinkem prováděné injektáže.

Základní podmínkou vhodnosti injektování je schopnost vnikání injektážní látky do pórovitého prostředí, která je závislá na její viskozitě a tvaru jednotlivých zrn zastoupených ve směsi. Vis-

kozitu lze upravovat aktivací nebo použitím cementů s vyšším měrným porvchem.

PLÁNOVÁNÍ A KVALITA INJEKTÁŽE

Důležitým bodem injektážní strategie je etapa plánování injektáže. Ta zahrnuje posouzení daného stavu konstrukce: únosnost, použitelnost, životnost (trvanlivost), a to na základě stavebního průzkumu konstrukce, statického výpočtu a zkoušek provedených v laboratořích na normových zkušebních tělesech, dále posouzení plánované injektáže z hlediska technologického a materiálového tak, aby byl dle výchozích kritérií a požadavků navržen optimální postup sanace injektážními systémy. Výsledkem stavebního průzkumu by mělo být stanovení příčiny poruch, vyjádření k možnému riziku vzniku nových trhlin a následně návrh způsobu a technologie vyplnění injektážními hmotami. Stejně důležitá je informace o druhu poruchy stavebního díla. Je-li konstrukce vystavena namáhání vodou nebo vlhkostí, je nutno stanovit, zda se jedná o poruchy způsobené vodou propouštěnou pod tlakem či bez tlaku, a zároveň jsou-li následkem působení vody způsobeny dutiny nebo trhliny.

1

INJEKTÁŽE KAVEREN ZA OSTĚNÍM STOKY E

Předmětem příspěvku je sanace jediné kanalizační stoky E v ulici Povltavská v Praze 8–Libni. Průzkum stoky proběhl v říjnu 2003 a v březnu 2009 v rozsahu od mostu Barikádníků po Elsnicovo náměstí. Říjnový průzkum zevnitř stoky odhalil na čtyřech místech rozsáhlé kaverny za ostěním stoky dosahující téměř k terénu. Průzkum z roku 2009 byl proveden z povrchu a potvrdil výsledky z roku 2003 s poukázáním na zhoršení stavu. Výsledky obou průzkumů byly ověřeny sondou v místě řezu. **Kaverny vznikly pravděpodobně při povodni v roce 2002 vlivem ústupu vody zpět do koryta Vltavy a následného vyplavení jemných částí z prostředí.**

V první etapě opravy byly sanovány tři rozsáhlé kaverny v úseku mezi šachtami Š1 až Š18. Další opravy navazovaly v druhé etapě. Sanace byla provedena injektáží jak ze stoky, tak z povrchu.

GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM

Použité metody a terénní práce

Cílem průzkumu bylo posoudit, zda při tlakovém režimu stoky nedošlo k výraznějšímu úniku vody za konstrukci sběrače a s tím spojenému vyplavení materiálu z jeho okolí. Vzhledem k hloubce sběrače a předpokládanému rozsahu podzemních objektů byla pro geofyzikální průzkum zvolena kombinace mikrogravimetrie a povrchového georadarového měření. Vysoký průtok ve stoce neumožňuje za normálního provozu provedení měření ze stoky georadarem. Pro celkové zhodnocení situace byly použity výsledky měření ze stoky, které bylo realizováno na podzim roku 2003, kterým byly v okolí sběrače indikovány oslabené zóny, kde může při tlakovém proudění za obezdívkou docházet k vyplavování materiálu a vzniku kaveren.

Metoda měření georadarem je za-

ložena na principu vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění do zemního prostředí a následné registraci vlnového obrazu odražených a procházejících vln. Vlnový obraz je ovlivněn lokálními nehomogenitami především s odlišnou vodivostí a dalšími komplexními elektromagnetickými vlastnostmi (volné nebo zvodnělé dutiny, kovové objekty, zvodnělý zásyp výkopů apod.). Nehomogenity uvedeného charakteru se projevují v radarových časových řezech charakteristickými změnami v registrovaném signálu. Pro průzkum byl použit radarový systém X3M Corder výrobce MALÁ GeoScience s anténou o střední frekvenci 100 MHz, která má hloubkový dosah 5 až 7 m při rozlišovací schopnosti nehomogenit od 400 mm. Na profilech bylo měřeno s krokem 200 mm při sumaci šestnáct měření na jednom bodě. Celková délka povrchového průzkumu byla 1 200 m. Průzkum byl proveden dvěma profily vedenými vždy vlevo a vpravo od osy sběrače, vzdálenost profilů mezi sebou činila 2 m.

Mikrogravimetrie sleduje geologické prostředí z hlediska relativních změn objemové hmotnosti v místě pod bodem měření. Registrovanou veličinou je relativní hodnota zemského tíhového zrychlení. Metoda v dané problematice indikuje zejména výrazně porušené zóny v zemním prostředí a lokální izometrické nehomogenity s materiálem výrazně nižší objemové hustoty než okolí (dutiny).

K měření byl použit přesný gravimetr Scintrex CG-5, který umožňuje odečet hodnot v řádu 10^{-8} m.s^{-2} (1 μGal) s opakovatelností měřených hodnot do 5 μGal . Na každém bodě bylo provedeno dva až pět měřících cyklů, v každém cyklu bylo analyzováno šedesát měření s intervalem odečtu 0,2 s. Charakter úlohy zatím nevyžadoval navázání výsledků gravimetrických

měření na bod státní gravimetrické sítě. Hodnoty tíhových anomálií jsou tedy relativní. Z vyhodnocení opakovaných měření byla spočtena kvadratická chyba měření $\pm 4,8 \mu\text{Gal}$. Všechny gravimetrické body byly nivelací výškově zaměřeny s přesností do 0,01 m.

Vyhodnocení

Georadarový průzkum ukázal řadu indikací v rámci sledovaného úseku. V některých případech se jedná o projevy souběžných podzemních sítí nebo nehomogenit na tyto objekty vázaných. Charakter a intenzita registrovaného radarového signálu jsou v rámci trasy proměnlivé a jsou ovlivněny litologickými a materiálovými změnami různorodého zemního prostředí v okolí a v nadloží sběrače. Vlastní indikace rozvolnění jsou tak někdy méně markantní ve srovnání s vlivem proměnlivosti materiálu na přijímaný signál.

Anomálie v nadloží stoky jsou charakterizovány ve dvou stupních: oslabení nadloží bez kaveren v zemním prostředí v okolí stoky jako první stupeň a výrazné rozvolnění zemního prostředí s přítomností kaveren jako druhý stupeň.

Mikrogravimetrie byla provedena ve vybraných úsecích trasy po předběžném zhodnocení měření georadarem. V získaných profilových křivkách Bouguerových tíhových anomálií byly vyznačeny záporné tíhové anomálie, které ukazují na deficit hmoty v místě průzkumu, případně na přítomnost kaveren.

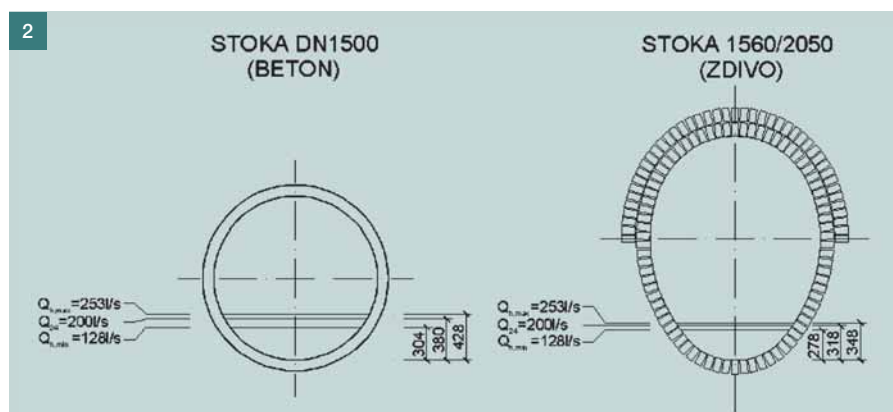
Interpretace výsledků měření obou metod ukazuje na několik oblastí, ve kterých je třeba počítat s narušením zemního prostředí v nadloží stoky a v jejím okolí.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE STAVBY

Kanalizace je uložena v hloubce 5 až 7 m pod terénem. Ze dvou geologických vrtů situovaných v těsné blízkos-

Obr. 1 Most Barikádníků, povodně 2002 [2] ■ Fig. 1 Barikádníků Bridge, floods 2002 [2]

Obr. 2 Hladiny vody při hlavních průtocích ve stoce ■ Fig. 2 Water levels during the main flows



Tab. 1 Prostředí v místě vrtu S-7 ■ Tab. 1 Subsoil materials at the drilling place S-7

VRT S-7m	
Hloubka [m]	Prostředí
0 – 2	Kvartérvážíka pevná písčítá kamenitá ulehlá hlinitá
2 – 6	Kvartérvážíka písčítá kamenitá hnědá
6 – 7	Kvartéřšterk max. velikost částic 100 mm hlinitý tmavá hnědá
7 – 9,7	Kvartéřšterk max. velikost částic 100 mm rezavý hnědý, příměs: křemenec (ortokvarcit), hlína písčítá hnědá
9,7 – 10	Kvartéřšterk max. velikost částic 100 mm rezavý hnědý
10 – 10,3	Kvartéřhlína písčítá tuhá hnědá
10,3 – 12	Kvartéřšterkopisek max. velikost částic 200 mm
12 – 12,3	Ordovikbřidlice hlinitá jílovitá zvětralá černá
12,3 – 12,6	Ordovikbřidlice hlinitá zvětralá ve střípkách černá
HPV – 8,8 m	

Tab. 2 Fyzikální a mechanické parametry injektážní směsi ■ Tab. 2 The physical and mechanical parameters of the grouting mixture

Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	7 dnů	> 1,5
	28 dnů	> 3
Pevnost v tlaku [MPa]	7 dnů	> 5
	28 dnů	> 10
Odolnost vůči síranovým vodám	trvale odolná prostředí do 2 000mg SO ₄ ²⁻ /l	



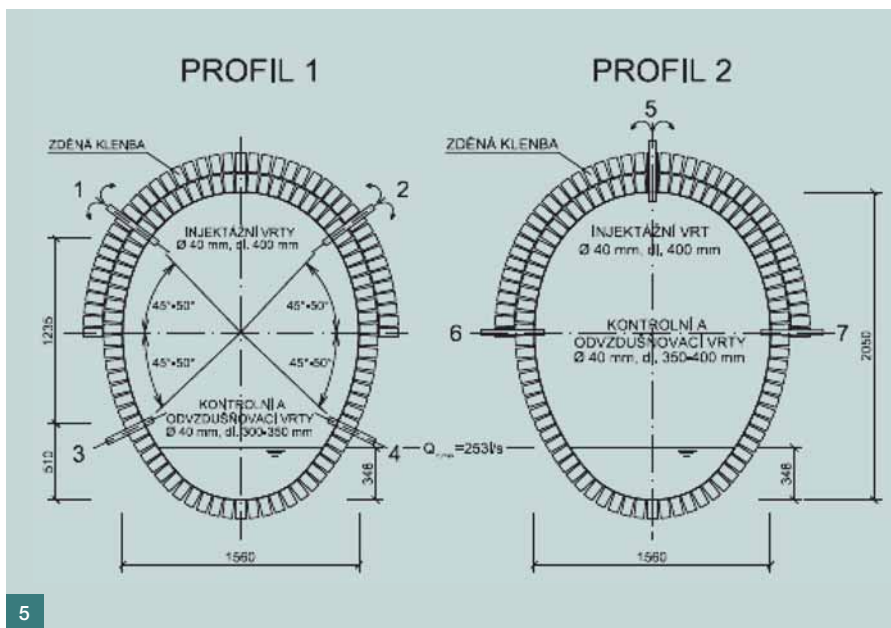
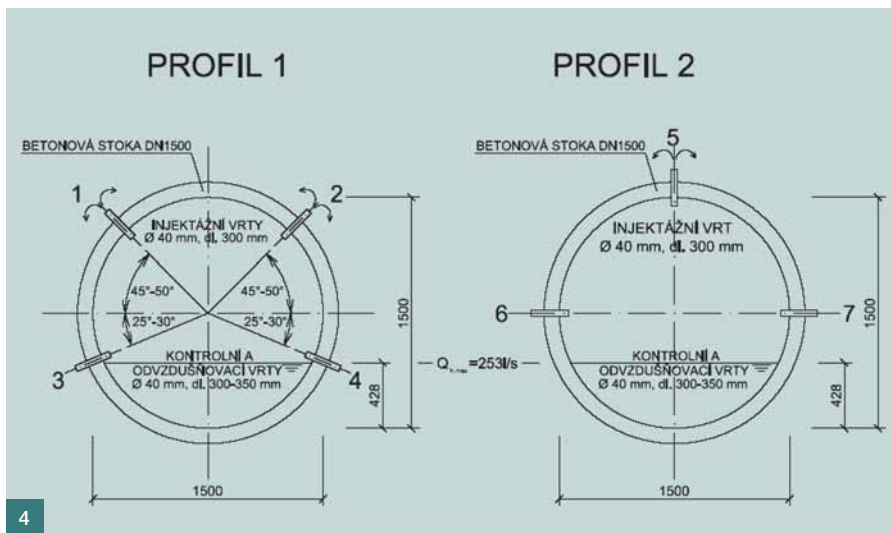
ti poškozených míst lze popsat geologické prostředí jako typické pro oblasti v těsné blízkosti vodních toků a nepředpokládá se výrazná změna průběhu vrstev. Převažují písčité horniny s výskytem štěrků (tab. 1).

- **Profil 1560/2050 (Š1-Š3)** – vnitřní obvod stoky 5,61 m, plocha příčného profilu 2,51 m², materiál zdvo, celková délka úseku 86,9 m
- **Profil DN 1500 (Š3-Š18)** – vnitřní obvod stoky 4,71 m, plocha příčného profilu 1,77 m², materiál beton, celková délka úseku 788,19 m
- **Injektáž zevnitř stoky** délka injektovaného úseku 49 m, 81 injeztážních vrtů, reálná spotřeba injeztážní směsi – 67,5 m³, předpokládaná spotřeba tab. 3 a 4
- **Injektáž z povrchu** – délka injektovaného úseku 27 m, 56 injeztážních vrtů, reálná spotřeba injeztážní směsi – 74 m³

Stoku nebylo možné během stavby zcela přepojit a zajistit tak „suché“ pracovní prostředí, proto sanační práce probíhaly za provozu. Injektáž ze stoky byla prováděna pouze v nočních hodinách, kdy se předpokládá minimální průtok ve stoce. Při injeztáži z povrchu není výška hladiny ve stoce podstatná.

INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÉ POMĚRY LOKALITY

Vzhledem k poloze stoky v těsné blízkosti vodního toku (Vltavy) se očekávala značná rozkolísanost hladiny podzemní vody. Dle dostupných podkla-



Tab. 3 Předpokládaná spotřeba injektážní hmoty na úseku Š3-Š18 při injektáži zevnitř stoky ■ Tab. 3 Consumption of grout materials in the area of the S3-S18

Profil	Počet vrtů [ks]	Spotřeba směsi [m ³ /bm]	Délka úseku [m]	Celková spotřeba směsi [m ³]
P1	8	1	8	8
P2	8	1	8	8
Celkem [m³]				16

Obr. 3 Injektážní jehly z povrchu po injektáži ■ Fig. 3 Injection needles from the surface after the injection

Obr. 4 Technologie injektáže stoky – betonový profil (základní údaje: vnitřní obvod stoky 4,71 m, plocha příčného profilu 1,77 m², materiál: beton, celková délka úseku 788,19 m) ■ Fig. 4 Technology of grouting sewer – concrete profile (basic information: inner perimeter drains 4.71 m, cross-profile area 1.77 m² material: concrete, the total segment length 788.19 m)

Obr. 5 Technologie injektáže stoky – zděný profil (základní údaje: vnitřní obvod stoky 5,61 m, plocha příčného profilu 2,51 m², materiál: zdivo, celková délka úseku 86,9 m) ■ Fig. 5 Technology of grouting sewer – brick profile (basic information: inner perimeter drains 5.61 m, cross-profile area 2.51 m², material: masonry (brick), total segment length 86.9 m)

Obr. 6 Spojná komora ■ Fig. 6 Converging chamber

Tab. 4 Předpokládaná spotřeba injektážní hmoty na úseku Š1-Š3 při injektáži zevnitř stoky ■ Tab. 4 Consumption of grout materials in the field of S1-S3

Profil	Počet vrtů [ks]	Spotřeba směsi [m ³ /bm]	Délka úseku [m]	Celková spotřeba směsi [m ³]
P1	48	1,5	12	18
P2	33	1,5	11	16,5
Celkem [m³]				34,5



Literatura:

- [1] Verfel J.: Injektování hornin a výstavba podzemních stěn; MUS Bradlo Bratislava 1992, ISBN 87-127-043
- [2] RayeR's PHP photography 2.0 (C)2002-2008, <http://raye.ic.cz>
- [3] Chabr T.: Geofyzikální průzkum Sběrač E Elsnicovo nám. – most Barikádníků, závěrečná zpráva, Praha 2009
- [4] Odstranění kaveren za ostěním stoky E v ul. Povltavská, Praha 8, Technická zpráva, Projektant: bKO-KA, s. r. o., Praha 2009
- [5] ČSN 73 0037: Zemní tlak na stavební konstrukce
- [6] ČSN 73 7501: Navrhování konstrukcí ražených tunelových objektů
- [7] ČSN 73 6701: Stokové sítě a kanalizační přípojky

dů se stoka téměř celým svým profilem nachází pod hladinou Vltavy. Na rozkolísanost hydrologických podmínek bylo třeba brát důrazný zřetel.

Prostředí v místě vrtu S-7 viz tab. 1.

STAVEBNĚ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Sanační práce na stoce spočívaly v odstranění kaveren nad stokou a zpevnění oslabeného prostředí v bezprostředním okolí stoky. Účelem navrhované injektáže byla především sanace anomálních zón, tj. doplnění chybějícího materiálu do indikovaných rozvolněných oblastí nebo kaveren. Z georadarového průzkumu vyplynul rozsah volných prostor, které se nacházejí v těsném okolí stoky. Jako hlavní předmět sanace

byla stanovena tři místa, kde geofyzikální průzkum odhalil rozsáhlé kaveriny za ostěním stoky dosahující téměř pod terén. Hloubka stoky v sanovaných místech je 5 až 7 m. Stoka na sanovaném úseku přechází ve spojnou komoru z betonového profilu na atypické zděné vejce. Dle profilu a výskytu kaveren byla zvolena technologie injektáže. V místě řezu 1-1 byla injektáž provedena pouze zevnitř stoky, v místě řezů 2-2 a 3-3 byla provedena kombinace injektáže zevnitř stoky a z povrchu.

MATERIÁL INJEKTÁŽNÍ SMĚSI

Vzhledem k charakteru výplňové injektáže s možností přítomnosti podzemní vody byla vybrána suchá jednosložková cementojílová směs Injektostone H, která splňuje podmínky pro injektáž zvodnělého prostředí. Její parametry jsou limitovány čerpatelností, aby nedocházelo k ucpání zařízení. Minimální fyzikální a mechanické parametry injektážní směsi viz tab. 2.

ZÁVĚR

Příspěvek popisuje případ vzniku kaveren v okolí kanalizační stoky v ulici Povltavská v Praze 8-Libni a jejich následnou sanaci pomocí injektážních technologií. Z georadarového průzkumu vyplynul rozsah volných prostor, v těsném okolí stoky, které vznikly pravděpodobně při povodni 2002 vlivem ústupu vody zpět do koryta Vltavy a následného vyplavení jemných částic z prostředí. Tyto kaveriny bylo nutné vyplnit a ostě-

nit stoky stabilizovat pomocí injektážní technologie tak, aby nové materiály se stávajícími vytvořily kompozit, který je schopen odolávat vlivům používání, prostředí i času. Injektáž byla prováděna zevnitř stoky a z povrchu. Materiálové charakteristiky injektážní směsi uvádí tab. 2, technologie injektáže je známenána na obr. 2 a 3.

Uvedená problematika je řešena v rámci projektu MPO FT-TA3/139 s názvem „Komplexní systém sanace defektů v zeminách za rubem stavebních konstrukcí novými injektážními hmotami z druhotných surovin“ a dále v rámci výzkumného záměru MSM 0021630511 „Progressivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.

Text příspěvku byl posouzen odborným lektorem.

Příspěvek na toto téma zazněl na konferenci Sanace 2010.

Ing. Jaroslav Chabr
Pragis, a. s.

divize Podzemní stavby

U Elektry

190 00 Praha 9-Hloubětín

tel.: 281 045 712

email: chabr.jaroslav@pragis.cz

Ing. Pavla Matulová
VUT Brno, Fakulta stavební
Ústav technologie stavebních hmot
a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno
tel.: 541 147 511
email: matulova.p@fce.vutbr.cz

