

INJEKTÁŽ TRHLIN A DUTIN V BETONU – ČÁST 2: VÝBĚR A POUŽITÍ INJEKTÁŽNÍCH MATERIÁLŮ INJECTION OF CRACKS AND VOIDS IN CONCRETE PART 2: SELECTION AND APPLICATION OF THE INJECTION MATERIALS

HOLGER GRAEVE

Ve stavební praxi patří lokální injektáž trhlín a dutin k běžným činnostem spojeným s betonem. Úspěšné použití injektážních systémů vyžaduje, abychom se hlouběji zabývali vlastnostmi stavebních hmot a injektážními technologiemi. Zatímco tyto oblasti byly objasněny v první části článku, hlavním tématem druhé části je výběr a použití různých injektážních materiálů.

Local injection of cracks and voids falls within common jobs connected with concrete in the building practice. Successful exploitation of injection systems requires from civil engineers deeper study of construction materials and injection technologies. While these areas were examined in the first part of this article, the main topic of the second part is the choice and use of various injection materials.

VÝBĚR INJEKTÁŽNÍCH MATERIÁLŮ

Jako injektážní materiály se používají polymerně tvrdnoucí a hydraulicky tvrdnoucí injektážní hmoty. Výběr injektážního materiálu se řídí v zásadě jeho mechanickými vlastnostmi v teplotním rozsahu použití. Zatímco minerální injektážní hmoty se základním pojivem cementem se chovají podobně jako beton, polymerní materiály mají mechanické chování závislé na teplotě (duromery, elastomery). Schopnosti přetvoření jsou díky teplotnímu rozsahu zesklotvení značně odlišné.

Různé injektážní materiály reagují během procesu tvrdnutí na vodu různě. Vlhkost betonu je proto důležitou omezující podmínkou. Rozlišujeme následující stavy vlhkosti:

- suchý
- vlhký
- vodopropustný, přičemž stupeň propustnosti se rozděluje podle protékání vadného místa v závislosti na tlaku.

Jako „suché“ se označují trhliny a dutiny, u kterých nelze zjistit vliv vody.

Jako „vlhké“ se popisují takové trhliny a dutiny, které vykazují změnu barevného odstínu v oblasti trhliny/dutiny způsobenou vlhkostí bez viditelného výronu vody („vodopropustné bez tlaku“). Vytéká-li voda po kapkách, ukazuje to na pohyb vody bez tlaku. Výtok vody v nepřerušovaném proudu stejně jako tryskající vodu lze vyhodnotit jako protékání pod tlakem („vodopropustné pod tlakem“). Především se posuzuje vzhled povrchu konstrukce (poruchy). Ve výjimečných případech může být proveden odběr vzorků vrtného jádra.

Z praktického hlediska je pro injektáž velmi důležitá směsná viskozita výplňového materiálu. Podstatně určuje hranice jeho použití. S polymerními injektážními materiály (reakčními pryskyřicemi) lze provádět injektáž trhlín od šířky 0,1 mm. Vzhledem k dobré kapilární vzlinavosti jsou umělé pryskyřice schopny proniknout až do kořene trhliny a srovnatelných rozvětvení. Minerální suspenze jsou omezeny na injektáž širších trhlín v závislosti na struktuře částic pojiva. Navíc nemohou být trhliny naplněny minerálními suspenzemi plně až k jejich kořenům. Proto nelze tímto způsobem zajistit utěsnění trhlín.

Elastomerové pryskyřice

Nejširší spektrum utěsňujících injektážů zauímají elastické injektážní materiály na bázi polyuretanu. Elastomerovými pryskyřicemi (PUR) lze utěsnit trhliny nebo dutiny nezávisle na jejich vlhkostním stavu, jestliže se jedná o nízkoviskózní, elastické a pórovité produkty bez obsahu rozpouštědel.

Pro utěsňující injektáž v případě proměnlivých šířek trhlín lze použít elastické produkty s viskozitou cca 100 mPa.s. Pryskyřice s vyššími viskozitami vyžadují při stejných šířkách trhlín použití vyššího, v některých případech neakceptovatelného, injektážního tlaku. Se zvláště nízkoviskózními systémy lze utěsnit trhliny od šířky cca 0,1 mm. U všech polymerních injektážních materiálů viskozita po smíchání složek rychle narůstá.

Nárůst viskozity vyplývající z reakce materiálu omezuje dobu zpracovatelnosti, která končí při překročení směsné viskozity 1 000 mPa.s. Technologicky lze dobu zpracovatelnosti vyplývající z reakce obejít použitím dvousložkové injektážní pumpy.

K dočasnému zastavení průsaků vody v případě injektáže proti tlakové vodě se smějí použít rychle pěnicí pryskyřice stejné materiálové báze (SPUR). Tyto pryskyřice tvoří při kontaktu s vodou ve velmi krátké době a za velkého nárůstu objemu pěny s jemnými a otevřenými póry. Z důvodu otevřené pórovité struktury jsou tyto pěnicí pryskyřice vodotěsné pouze po omezenou dobu. Následně musí být vždy provedena trvale účinná těsnící injektáž nepropustnou elastomerovou pryskyřicí s uzavřenou strukturou pórů.

Použití pěnicí pryskyřice by mělo být omezeno na nezbytně nutné případy a i poté by se měla aplikovat pouze přerušovaně. Elastomerové pěny velmi rychle reagují, potřebují několik sekund až minut k tomu, aby se smísily a reagovaly s reakčním partnerem – vodou. Tato skutečnost vyžaduje provádění injektáže po intervalech, aby bylo možno pozorovat účinek stlačeného množství pryskyřice. Při správném použití elastomerové pěny se vyplní pouze nezbytně nutné oblasti, výstup pěny je na povrchu viditelný jen částečně. Pro optimální hlavní injektáž s trvale utěsňující elastomerovou pryskyřicí postačí snížení tlaku vody. Pěna se tudíž musí injektovat s rozmyslem a odpovídajícím způsobem.

Obecně jsou stavební konstrukce v oblasti podzemní vody zatíženy přírodní vodou, která napadá beton nebo ocel pouze v mimořádných případech. Regionálně jsou stavební objekty vystaveny zatížení slanou vodou. Koroze z něj vyplývající je pro železobetonové stavební objekty s příslušnou expozicí z hlediska stability mimořádně důležitá.

Během údržbových prací na ČOV (obr. 15) byla zjištěna masivní tvorba trhlín v podkladní betonové desce. Vyvsta-



15



16

la potřeba jejich opravy, aby se zabránilo exfiltracím a infilzacím vody.

Thoušťka podkladní betonové desky vyžadovala poměrně velké vzdálenosti pakrů (obr. 16). Od hloubky trhlin cca 600 mm je třeba přizpůsobit obvyklé uspořádání pakrů stávajícím podmínkám. V případě poměrně širokých a hlubokých trhlin tohoto objektu se podařilo úplné vyplnění nízkoviskózní a vysoce reaktivní pryskyřicí i za obtížných podmínek. Všechny trhliny na ČOV byly bezpečně utěsněny elastomerovou pryskyřicí. V tomto případě byla věnována mimořádná pozornost rovněž chemické odolnosti těsnící pryskyřice proti komunální odpadní vodě.

Aplikační profil elastomerové pryskyřice k utěsňující injektáži vodopropustných trhlin od šířky 0,1 mm lze formulovat pro injektáž propustných stavebních objektů takto:

- viskozita < 100 mPa·s
- doba zpracovatelnosti > 20 min při použití jednosložkových injektážních pump
- rychlá reakce při kontaktu s vodou během injektáže
- elasticita v teplotním rozsahu použití (příp. použití katalyzátoru)
- kombinovatelnost s elastomerovou pěnou v případě silného výronu vody
- prohlášení o shodě dle ČSN EN 1504-5 [1]
- doklad o nezávadnosti pro zpracování a kontakt s pitnou vodou či podzemní vodou dle směrnice REACH [2]

Dutiny lze injektovat při jakémkoliv stavu vlhkosti elastomerovou pryskyřicí, jestliže nebude omezena stabilita způsobená dutinami v betonu. Použití elas-

Obr. 15 Vodopropustné dělicí trhliny v podkladním betonu na ČOV (foto KST)

Fig. 15 Water-permeable dividing cracks in the concrete mattress in a wastewater treatment plant (photo by KST)

Obr. 16 Trhлина připravená pro injektáž pomocí vrtaných pakrů

Fig. 16 Crack ready for injection by means of drilling packers

Obr. 17 Injektáž rastru stropu podzemní garáže

Fig. 17 Injection of the grid of the ceiling of the underground garage

tomerové pěny by mělo být zásadně vyloučeno, aby se transportní cesty pro trvale utěsňující pryskyřici udržely maximálně volné.

Obr. 17 dokumentuje strop podzemní garáže. Strop byl promáčen pronikající vodou. Promáčení nebylo možno přiřadit žádnému viditelnému obrazci trhlin, takže příčinou byly pravděpodobně dutiny v betonu. Proto bylo rozhodnuto odstranit závalu lokální rastrovou injektáží. Zvolena nízkoviskózní elastomerová pryskyřice s dlouhou dobou zpracovatelnosti nyní trvale těsní původní průsaky.

Duromerové pryskyřice

Jestliže lze v suchých stavebních dílcích rozpoznat vadná místa a před možným zatížením vodou jsou injektována, použijí se duromerové, pevné reakční pryskyřice na epoxidové bázi (EP). Pro injektáž do vlhkých nebo vodou vyplněných trhlin nebo dutin jsou vhodné výhradně speciální duromerové pryskyřice snášejiící vlhkost, které jsou vyrobeny na epoxi-



17

dové nebo polyuretanové bázi. Duromerové pryskyřice pro injektáž neobsahují rozpouštědla, jsou nízkoviskózní a pevné v tlaku a tahu. Výběr duromerové pryskyřice probíhá podle viskozity, vývoje pevnosti a snášenlivosti s vlhkostí.

Nárůst viskozity vyplývající z reakce omezuje i u duromerových pryskyřic dobu zpracovatelnosti. Pro duromerové pryskyřice je rozhodující nárůst teploty reaktivní injektážní směsi. Mezní viskozita cca 1 000 mPa·s se dosahuje krátce po překročení teploty pryskyřice 40 °C. Tím lze omezit dobu zpracovatelnosti na čas do překročení mezní teploty materiálu 40 °C. Reaktivní duromerová pryskyřice rychle nabývá na pevnosti.

Opakovaná injektáž prostorů vyplněných duromerovou pryskyřicí není po úplném vytvrzení pryskyřice už možná. Nelze totiž zaručit silový spoj mezi vrstvami duromerové pryskyřice různého stáří.

Aplikační profil duromerové pryskyřice k utěsňující injektáži suchých trhlin od šířky 0,1 mm lze shrnout takto:



18



19



20

Obr. 18 Trhliny v podkladní betonové desce podzemních garáží

Fig. 18 Cracks in the concrete mattress of the underground garages

Obr. 19 Injektáž trhlín pomocí lepených pakrů
Fig. 19 Injection of cracks using adhesion packers

Obr. 20 Kontrola výsledku vyplnění pomocí vrtného jádra
Fig. 20 Examination of the outcome of filling by means of the drilling core

Obr. 21 Proces míchání minerální suspenze
Fig. 21 Process of mixing mineral suspension

Obr. 22 Injektáž cementové suspenze
Fig. 22 Injection of cement suspension

- viskozita < 100 mPa·s
- doba zpracovatelnosti > 20 min při použití jednosložkových injektážních pump
- snášenlivost s vlhkostí při aplikaci v kontaktu s vodou
- prohlášení o shodě dle ČSN EN 1504-5 [1]

• doklad o nezávadnosti pro zpracování a kontakt s pitnou vodou či podzemní vodou dle směrnice REACH [2]

Injektáž duromerové pryskyřice k vyplnění dutin lze doporučit pouze pro malé objemy dutin, řádově ≤ 100 cm³. Exotermní reakce pryskyřice jakož i termické roztažení mohou způsobit poškození ve struktuře pryskyřice i ve struktuře betonu. Z důvodu značných rozdílů ve veličinách deformace se navíc mění tuhost betonu vyplněného duromerovou pryskyřicí.

Podkladní betonová deska podzemních garáží (obr. 18) vykazuje trhliny. Obnovení silového, těsného spojení pomocí duromerové pryskyřice je úspěšně provedeno.

Injektáž byla provedena pomocí lepených pakrů ještě předtím, než voda nebo škodlivé látky pronikly do trhlin (obr. 19).

Po injektáži byly boky trhliny pevně slepeny a staly se nepropustnými. Kontrola výsledku injektáže zahrnovala odběr vzorku vrtného jádra.

Stejně jako na povrchu trhliny lze prokázat i v hloubce, že dělicí trhlina byla zcela vyplněna (obr. 20).

Minerální suspenze

Minerální suspenze na cementové bázi vyžadují ve srovnání s reakčními pryskyřicemi větší počáteční šířky trhlin, které jsou podstatně větší než šířky trhlin, které jsou u betonu považovány za propustné. Změny šířky trhlin jsou během dlouhé fáze tvrdnutí škodlivé. Dále vyžadují suspenze použití nízkého injektážního tlaku, aby během injektáže nedocházelo k narušování homogenity směsi díky nepříznivým poměrům proudění materiálu. Použití minerálních suspenzí má tudíž řadu nezanedbatelných omezení.

Cementová suspenze se vyrábí z jemně mletého cementu, přísad (aditiv) a vody. Koloidní míchačky nebo disolvery jsou důležitými zařízeními k tomu, aby bylo dosaženo vysoké míchací energie, která jemné částice suspenze oddělí od sebe

a homogenně rozdělí v rozmíchané směsi (obr. 21). Proces míchání rozhoduje o vlastnostech injektážní suspenze. Zpravidla je nutná doba míchání v trvání cca 10 min.

Silový styk spojení zhotoveného cementovou injektáží je určen parametry plniva. Na základě omezených pevností pojiiva v tahu jsou trhliny vyplněné minerálními suspenzemi pouze omezeně zatížitelné tahem. Pevnost v tlaku je méně kritická. Celkově dosahuje podmíněně silové spojení pouze hodnot pevnosti betonu třídy C30/37.

Aplikační profil cementové suspenze k utěsňující injektáži vlhkých trhlin od šířky 0,25 mm lze shrnout takto:

- viskozita < 50 mPa·s, doba vytékání < 60 s
- omezení velikostí částic v závislosti na použití
- žádná podstatná změna vlastností produktu způsobená dobou zpracování nebo při kontaktu s vodou během injektáže
- dlouhá doba zpracování pro injektáž dutin (až několik hodin)
- objemová stálost při procesu vytvrdnutí
- prokázání použitelnosti v injektážním systému (technika zpracování a injektáže)

Prohlášení o shodě dle ČSN EN 1504-5 [1] je určitě nutné. Z důvodu chyby ve formulovaných požadavcích na kvalitu nelze však toto prohlášení momentálně pro hydraulicky tvrditelné systémy získat.

Betonovou konstrukci bohatou na dutiny lze utěsnit a zpevnit cementovou suspenzí při jakékoli vlhkosti. Je třeba dbát na omezenou pevnost vytvrzené minerální suspenze v tahu. U betonových stavebních dílců nasycených vodou lze úspěšně použít cementovou injektáž pouze tehdy, když je možné vytlačení



21



22

stávající vody během injektáže za použití nízkého tlaku.

Smíchaná cementová suspenze se vytlačuje přes speciální plnicí hrdlo nízkotlakou metodou. Přitom je důležité dopravovat suspenzi pokud možno bez tlaku až dovnitř do stavebního dílce. Zpětné ventily tak, jak se používají pro injektáže pryskyřice, nejsou vhodné. Aby byly splněny podmínky nízkotlaké metody, jsou nutné pakry se zpětným ventilem překonatelné s minimálním tlakem nebo ručně ovládatelné uzávěry pakrů (obr. 22).

Hydrostrukturní pryskyřice

Hydrostrukturní pryskyřice jsou zajímavé produkty, které se kromě elasticity vyznačují bobtnavostí. Hydrostrukturní pryskyřice však vyžadují na druhé straně ochranu před vyschnutím.

Jejich použití v základové půdě nebo ve spárách ve styku s okolní zeminou

u podzemních staveb tuto ochranu poskytuje. Je dána objemová stálost ve stále vlhkém, hydrogeně neutrálním prostředí. Technologie gelování poskytuje za určitých podmínek technicky efektivní alternativu utěšňujících injektáží pomocí elastomerových pryskyřic.

Silnými stránkami hydrostrukturních pryskyřic jsou kromě velmi dobré plasticity i jejich velmi nízká viskozita a rychlá, regulovatelná reaktivita.

Pro možnost injektáže hydrostrukturními pryskyřicemi se předpokládá minimální šířka trhlin < 0,1 mm. Hydrostrukturní pryskyřice na akrylátové bázi mají velmi nízkou viskozitu podobnou vodě kolem cca 5 mPa·s. Díky tomu dosahují podobných penetračních vlastností jako voda. Jejich šíření je omezeno reakcí a s ní spojeným nárůstem viskozity. Protože se může množství iniciátoru reakce měnit, je třeba dbát na efektivní účinek při mini-

málním množství přísad. Velké množství přísad s minimálním urychlovacím účinkem negativně ovlivňuje ekologickou kompatibilitu, korozní účinek a samotnou kvalitu produktu.

Aplikační profil hydrostrukturní pryskyřice k utěšňující injektáži lze shrnout takto:

- viskozita cca 5 mPa·s
- říditelná reaktivita (< 1 minuta při 1% koncentraci iniciátoru reakce)
- žádná podstatná změna vlastností produktu způsobená dobou zpracování ani při kontaktu s vodou během injektáže (dostatečná reaktivita)
- dobrá bobtnavost
- použitelnost ve dvousložkovém injektážním systému
- prohlášení o shodě dle ČSN EN 1504-5 [1]
- doklad o nezávadnosti pro zpracování a kontakt s pitnou vodou či podzemní vodou dle směrnice REaCh [2].



■ sanace betonu



■ injektážní systémy



■ průmyslové podlahy

MC-Bauchemie – Protection Technologies

Inovace ve stavební chemii



MC-Bauchemie s.r.o.
Průmyslová zóna Sever · Skandinávská 990
267 53 Žebrák · Česká republika

Tel +420 311 545 155
Fax +420 311 537 118
www.mc-bauchemie.cz



23

Literatura:

- [1] ČSN EN 1504-5: Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí. Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 5. Injektáž betonu
- [2] Nařízení (ES) Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezení chemických látek (REACH), o vytvoření Evropské agentury chemických látek, o změně směrnice č. 1999/45/ES a o zrušení nařízení (EHS) Rady č. 793/93, nařízení (ES) Komise č. 1488/94, směrnice Rady č. 76/769/EHS a směrnice Komise č. 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/105/ES (nařízení REACH), publikované v úředním věstníku č. L 396/1 ze dne 30.12.2006



24

Obr. 23 Injektáž do přilehlé základové půdy se zpětným výtokem pryskyřice z jedné trhliny

Fig. 23 Injection into the adjoining foundation soil with a reverse discharge of resin from one crack

Obr. 24 Neúspěšná rastrová injektáž u tlakového průsaku vody

Fig. 24 Unsuccessful grid injection of pressure seepage of water

dení plošné injektáže v přilehlé základové půdě.

SHRNUTÍ

I přes dokonalé provádění stavebních prací se u betonové stavební konstrukce nelze zcela vyvarovat neplánované tvorbě trhlin – narozdí od dutin. Na to je nepostizitelnost ve stavebnictví příliš rozmanitá. Trhliny a vadná místa nebudou mít za následek žádné škody, jestliže budou dodatečně sanovány a utěsněny injektážními systémy.

K dispozici jsou různé druhy injektážních systémů. Základem je výběr injektážního materiálu, který musí trvale opravit a utěsnit poškozenou strukturu stavebního dílce. Pro plánování a realizaci utěšňující injektáže daného objektu je třeba sladit mezní hodnoty injektážních materiálů a situaci stavebního dílce. Alternativou injektáže do stavebního dílce nebo do meziprostor u vícevrstvých stavebních objektů je injektáž do základové půdy v blízkosti stavebního objektu prováděná u konstrukcí, které jsou v kontaktu s okolní zemínou.

Správné plánování injektáže je stejně tak důležité jako odborné zaškolení injektážního personálu. Během realizace sanačních prací je přesné dokumentování všech činností důležitým předpokladem trvalého úspěchu.

První část článku byla otištěna v předchozím čísle časopisu.

Dipl. Ing. Holger Graeve
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG
Am Kruppwald 1-8, 46238 Bottrop
Německo
tel: +492 041 101 10
protection-technologies@mc-bauchemie.de

Ve vícevrstvých stavebních konstrukcích, např. tunel s primárním torketovaným betonovým ostěním a vnitřní skořepinou nebo beton s přilehlou izolační vrstvou, lze rovněž utěsnit injektáží uzavřené kontaktní plochy mezi jednotlivými vrstvami pomocí hydrostrukturálních pryskyřic. Pro injektážní úkoly, kde musí poměrně tenká gelová membrána odolat stávajícímu tlaku vody, je výhodou zvýšený těsnící účinek speciálních hybridních systémů.

Místo koherentních, měkce elastických systémů dokáží hybridní hydrostrukturální pryskyřice zesílené polymery nabídnout lepší řešení. Tyto hydrostrukturální pryskyřice s vyšším obsahem pevných látek jsou

hybridy, ve kterých je voda jako směšná složka nahrazena polymerovou disperzí, nezávisle tvrdnoucím pojivem. Díky tomu se podstatně zlepšují smršťovatelnost, přilnavost a plasticita.

Injektáž hydrostrukturálních pryskyřic vyžaduje náročné vybavení a vysokou kvalifikaci provádějícího personálu. Použití dvousložkové injektážní pumpy je předpokladem úspěšného zpracování.

Obr. 23 ukazuje zpětný výtok injektážní pryskyřice z jedné trhliny značně vzdálené od místa injektáže. Rastrová injektáž umožňuje plošné utěsnění stavebního dílce s poměrně velkými vzdálenostmi pakrů. Jedná se zde však o technologii, která závisí mnohem více na okrajových parametrech konkrétní aplikace než „běžná“ injektáž do stavebních dílců a kterou lze zvládnout pouze díky vyhodnocení vstupních informací, důkladnému naplánování a odpovídajícímu způsobu provádění.

Jako alternativa injektáží trhlin a dutin ve struktuře stavebních dílců se osvědčilo plošné utěsnění silničního tunelu prováděné hybridní hydrostrukturální pryskyřicí obohacenou polymery v přilehlé základové půdě. Obr. 24 ukazuje neúspěšný pokus o utěsnění vlhkého místa injektáží do stavebního dílce pomocí vrtaných pakrů. Úspěch se dostavil až po prove-