

Protokol o ověření technologie

**MPO FV20149**

**Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí**

**Vypracovali:**

Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.

Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D.

Doc. Ing. Dohnálek Jiří CSc.

Ing. Václav Pumpr CSc.

Doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Ing. Vít Černý, Ph.D.

Ing. Petr Figala

V Brně dne 31.08.2021

* 1. **Název technologie**

Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí

* 1. **Účastníci ověření technologie (instituce, jména účastníků)**

BETOSAN s.r.o., IČ 48028177, Na dolinách 148/28, 147 00 Praha 4 Podolí, (vlastní ověření technologie):

Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D.

doc. Ing. Dohnálek Jiří CSc.

Ing. Václav Pumpr CSc.

Vysoké učení technické v Brně, IČ 00216305, Veveří 95, 602 00 Brno (hosté):

prof. Ing Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Ing. Vít Černý, Ph.D.

Ing. Petr Figala

* 1. **Místo a termín ověření**

Místo ověření: Praha 5 – Barrandov, ulice Pražského.

Termín realizace: 16.6.2021.

* 1. **Úvod**

Výrobci sanačních hmot, speciálních maltovin apod., v současné době evidují stále vyšší poptávku po sanačních hmotách pro opravy zděných kanalizačních stok. Vlastníci často velmi rozsáhlé vodohospodářské infrastruktury (cca 30 tis km stokových sítí v ČR) jsou zákonem vázáni tyto stavební díla udržovat v dobrém technickém stavu. Vysoké stáří, špatný stavebně technický stav a náročné expoziční prostředí vyžadují použití komplexního chemicky odolného systému pro optimální provedení trvanlivé sanace celé konstrukce. Ucelený sanační systém na bázi cementového či polymercementového pojiva představuje při precizním návrhu optimální variantu s širokými možnostmi využití, jednoduchou a rychlou aplikaci ručním či strojním nanášením bez nutnosti úpravy mikroklimatických podmínky vnitřního prostředí stavby, nebo také výhodným poměrem mezi životností nově sanované konstrukce a pořizovací cenou. Využitím nejnovějších stavebních materiálů a vhodných druhotných surovin je možné dosáhnout vysoké chemické odolnosti jednotlivých sanačních materiálů a s tím souvisejícího významného prodloužení životnosti původní stavební konstrukce. Výsledkem je sanační systém splňující specifické požadavky expozičního prostředí. Mimo jiné je vodotěsný a bezpečně odolný proti mechanickým, chemickým, biologickým a jiným vlivům protékajících odpadních vod a proti agresivním účinkům okolního prostředí, přičemž současně umožňuje bezpečné a účinné čištění stok. V oblasti sanačních systémů na cementové bázi se jedná o zcela unikátní a komplexní technologii, která je v nynější praxi jedinečná.

**Technologický postup výroby – obecně:**

1. **Předúprava podkladu a odstranění všech nesoudržných částic,**
2. **Proces aplikace sanačních hmot pro obnovu původního profilu a užitných vlastností konstrukce.**
3. **Proces aplikace rubové injektáže pro utěsnění a statické zajištění prostor za ostěním stoky.**
   1. **Poloprovozní testy, popis výsledků a způsob jejich dosažení, zdokumentování použitelnosti daných postupů**

Testování a optimalizace technologie byly realizovány průběžně v letech 2017 až 2021 poloprovozními zkouškami v rámci jednotlivých etap projektu FV20149. Výsledkem experimentů byla v roce 2021 ověřená technologie „Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí“, jež je popsána v následujícím textu.

Procentuální zastoupení vstupních surovin v jednotlivých komponentech systému, jež byly použity pro ověření, je uvedeno v následující tabulce.

* 1. Základní složení jednotlivých komponent systému v hm.%.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Surovina** | **Podíl [hm.%]** | | | |
| **Rubová injektáž** | **Správková**  **malta** | **Zdící**  **hmota** | **Spárovací**  **hmota** |
| Portlandský cement CEM I 42,5 R | 22,4 | 28,0 | 18,2 | 19,6 |
| Směs přísad **\*** | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 |
| Vysokoteplotní popílek – Chvaletice | 5,6 | - | - | 8,4 |
| Silica vyzdívka – ArcelorMittal | - | 7,0 | - | - |
| Cementové odprašky – Cementárna Mokrá | - | - | 7,8 | - |
| Jemně mletý vápenec | 6,5 | 6,0 | 13 | 14,1 |
| Živcové odprašky | 5,0 | - | 6,5 | 6,0 |
| Bentonit | 10,0 | - | - | - |
| Slévárenský písek + vodní sklo 0,063 – 1,0 mm | 20,0 | - | - | 51,0 |
| Směs křemičitých písků 0,063 – 4,0 mm | - | 58,4 | 53,7 | - |

\* Směs přísad je specifická surovina pro každou dílčí hmotu systému.

**A)** **POJIVA**:

* **Portlandský cement CEM I 42,5 R**
* **Substituce pojiva**
  + Vysokoteplotní popílek – elektrárna Chvaletice
  + Mletá silica vyzdívka
  + Cementové odprašky – cementárna Mokrá

**B) PLNIVA:**

* **Jemně mletý vápenec**
* **Živcové odprašky**
* **Bentonit**
* **Slévárenský písek pojený vodním sklem:** 0,063 – 1,0 mm
* **Směs křemičitých písků:** 0,063 – 4,0 mm

**C) DALŠÍ SLOŽKY:**

* **Směs přísad:** plastifikační a krystalizační přísada, polypropylenová vlákna, aj.

Byl testován následující postup technologie „Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí“:

* + 1. **Příprava podkladu**

Pro ověření technologie „Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí“ byla vybrána poškozená část stěny zděné kanalizační stoky v Praha 5 – Barrandov, přístupná z ulice Pražského. V této lokalitě se nachází stará zděná kanalizace, která je lokálně poměrně značně poškozená. Jak je patrné na následujících snímcích, velká část zdící a spárovací hmoty zdegradovala a část zdících prvků již v konstrukci chybí. Zároveň byly na daném místě některé zdící prvky vylámané, bylo tedy možné na malé ploše aplikovat téměř celý sanační systém.

V prvním kroku bylo nutné sanované místo důkladně očistit od všech nečistot i nesoudržných částic. Pro důkladné vyčištění spár mezi cihlami byla použita ruční metla. V druhém kroku byla celá plocha důkladně navlhčena. V kanalizaci byla poměrně vysoká vzdušná vlhkost, přesto bylo nutné povrch důsledně navlhčit, aby sanační hmoty správně přilnuly k povrchu.

|  |
| --- |
| 1. Zdivo připravené na aplikaci sanačních hmot. |

* + 1. **Příprava zdících prvků**

V dalším kroku byly upraveny rozměry zdících prvků tak, aby nebylo nutné dále narušovat stávající zděnou konstrukci.

|  |
| --- |
| 1. Příprava zdících prvků. |

* + 1. **Zdění pomocí chemicky odolné zdící hmoty**

První aplikovanou hmotou byla chemicky odolná zdící hmota. Pomocí této zdící malty byl zapraven otvor na rohu stěny kanalizační stoky. Zamísení zdící hmoty s vodou bylo provedeno pomocí stavebního míchadla. Doba míchání byla, obdobně jako při míchání v laboratorní míchačce, 270 ± 15 sekund. Tento čas přípravy byl shodný pro všechny připravované hmoty. Množství záměsové vody bylo naváženo přesně podle navážky suché směsi. Zpracovatelnost čerstvé malty byla subjektivně posuzována podle lepivosti čerstvé malty. Částí zdící hmoty bylo naplněno potřebné množství forem 40×40×160 mm (stanovení pevnostních charakteristik, objemové hmotnost či nasákavosti) a 100×100×100 mm (stanovení soudržnosti).

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Založení spodní řady. | 1. Zdění. |
| 1. Zazděný otvor. | 1. Příprava zkušebních těles do forem. |

* + 1. **Reprofilace povrchu pomocí chemicky odolné správkové malty**

V následném kroku byla, znovu stavebním míchadlem, připravena záměs správkové malty. Ta byla použita na reprofilaci povrchu, a hlavně zapravení menších poškození zdiva, např. odlomených kusů cihel. Vyvinutá správková malta se vyznačuje vysokou přilnavostí, a dobrou zpracovatelností, nebyl tedy problém ji nanést i na velmi složitý profil poškozené zděné konstrukce a vytvořit souvislý hladký povrch. V závěru byla vyrobena zkušební tělesa i ze správkové malty.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Aplikace správkové malty. | 1. Sanovaná stěna. |

* + 1. **Utěsnění mezer mezi zdícími prvky pomocí chemicky odolné spárovací hmoty**

Pomocí jemnozrnné chemicky odolné spárovací hmoty bylo možné důkladně utěsnit i ty nejmenší mezery mezi zdícími prvky a zajistit tak významné prodloužení životnosti celé zděné konstrukce.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Spárování zdiva. | 1. Spárování zdiva. |
| 1. Sanovaná stěna. | 1. Sanovaná stěna. |

Zároveň byly pomocí spárovací hmoty zapraveny i spáry mezi novými zdícími prvky, jelikož vyvinutá spárovací hmota vykazuje velmi dobrou chemickou odolnost a má lepší schopnost utěsnění nově vyzděného díla než samotná zdící hmota. Na závěr byla znovu část spárovací hmoty odebrána pro výrobu zkušebních těles.

* + 1. **Obnovení hydroizolační vrstvy injektováním zdiva injektážní směsí**

Kromě mechanické aplikace nových sanačních malt byla strojně injektována injektážní směs pro rubovou injektáž. Pro potřeby ověření technologie byly provedeny na malé ploše čtyři pakry. Injektážní hmota byla dobře čerpatelná, avšak ověření rovnoměrnosti a vydatnosti distribuce malty do okolní půdy je příliš komplikované.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Příprava otvorů na parky. | 1. Injektování |
| 1. Sanovaná stěna. | |

* + 1. **Výsledek ověření technologie**

Jak bylo uvedeno výše, během aplikace jednotlivých hmot, v rámci ověření technologie, bylo zhotoveno množství zkušebních těles. V následující tabulce jsou souhrnně uvedeny všechny fyzikálně-mechanické charakteristiky stanovené na zkušebních tělesech vyrobených „in situ“.

Pro stanovení soudržnosti zdící hmoty a spárovací hmoty byla vyhotovena zkušební tělesa o rozměrech 100x100x40 mm, a to z obou hmot zároveň. Pro potřeby výroby zkušebních těles „in situ“ byla nejprve plněna zdící hmota, a to v tloušťce vrstvy 20 ± 5 mm. Spárovací hmota byla plněna po zavadnutí zdící hmoty, a to tak, aby výsledná tloušťka zkušebního tělesa byla 40 ± 5 mm. Po uplynutí 28 dní zrání ve vodním uložení byla, pomocí zařízení s vnitřním průměrem 50 mm, ze středu zkušebního tělesa, kolmo na směr hutnění, vyhotovena válcová zkušební tělesa. Dva kruhové zkušební terče (o průměru 50 ± 0,1 mm) byly přilepeny centricky na protější zkušební plochy a po vytvrzení lepidla byla pomocí zkušebního stroje stanovena vzájemná soudržnost daných hmot. Požadavek na přídržnost k podkladu je u zdící hmoty ≥ 2 N/mm2 a u spárovací hmoty ≥ 1,5 N/mm2. Požadavek na vzájemnou soudržnost daných hmot je ≥ 1,5 N/mm2.

Požadavek na nasákavost se liší v souvislosti s charakterem jednotlivých hmot. Jedná se o charakteristiku závislou na distribuci pórů cementového kamene. Nasákavost byla stanovována na zlomcích zkušebních těles pro stanovení pevnostních charakteristik. Nasákavost tedy byla studována u všech zkušebních těles, všech surovinových variant jednotlivých komponent systému, jejichž doba zrání ve vodním uložení byla alespoň 7 dní.

Jak vyplývá z výše uvedeného, zkušební tělesa pro stanovení pevnostních charakteristik byla vyjmuta z vodního uložení bezprostředně před provedením samotné zkoušky. Dlouhodobé vodní uložení zkušebních těles bylo zvoleno pro všechny surovinové varianty jednotlivých komponent systému, a to pro dosažení maximálního pozitivního vlivu krystalizačních přísad na výsledné charakteristiky vyvíjených sanačních hmot.

* 1. Výsledné parametry komponent systému vyráběných „in situ“.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Surovina** | **Podíl [hm.%]** | | | |
| **Rubová injektáž** | **Správková**  **malta** | **Zdící**  **hmota** | **Spárovací**  **hmota** |
| Pevnost v tahu za ohybu (28 dní) [N×mm-2] | 3,8 | 8,5 | 7,2 | 8,4 |
| Pevnost v tlaku (28 dní) [N×mm-2] | 11,0 | 55 | 35 | 36 |
| Nasákavost (28 dní) [hm. %] | 25,6 | 8,4 | 12,1 | 11,8 |
| Objemová hmotnost (28 dní) [kg×m-3] | 1920 | 2210 | 2200 | 2150 |
| Soudržnost (28 dní) [N×mm-2] | - | - | 1,6 | |

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ověření technologie “Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí“ bylo úspěšné a výsledkem je zcela nový sanační systém s požadovanými užitnými vlastnostmi.

* 1. **Přehled využití**

Ověřená technologie „Systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí“ bude využívána společností BETOSAN s.r.o. (IČ: 48028177) při vlastní výrobní a prodejní činnosti. Jejím prostřednictvím tak dojde k postupnému nárůstu jejího praktického využití.

V Brně dne 31.08.2021

Za BETOSAN s.r.o., Na dolinách 148/28, 147 00 Praha 4 Podolí:

|  |
| --- |
| Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D. |

Za Vysoké učení technické v Brně, Fakultu stavební, Veveří 95, 602 00 Brno:

|  |
| --- |
| prof. Ing Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c. |