MPO FV20149

**Chemicky odolná spárovací hmota**

**Funkční vzorek**

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

 Ing. Pavel Dohnálek, Ph.D.

 Ing. Vít Černý, Ph.D.

Ing. Petr Figala

V Brně dne 20.08.2021

**Obsah**

[Úvod 3](#_Toc81812941)

[1. Označení testovaného vzorku 3](#_Toc81812942)

[2. Metodika přípravy chemicky odolné spárovací hmoty 5](#_Toc81812943)

[2.1 Proces přípravy chemicky odolné spárovací hmoty 5](#_Toc81812944)

[2.2 Ověřování parametrů chemicky odolné spárovací hmoty 5](#_Toc81812945)

[3. Metodika prováděných zkoušek 6](#_Toc81812946)

[3.1 Stanovení konzistence 6](#_Toc81812947)

[3.2 Stanovení pevnosti v tlaku 7](#_Toc81812948)

[3.3 Stanovení odporu ke kapilární absorpci 7](#_Toc81812949)

[3.4 Stanovení chemické odolnosti v roztoku kyseliny sírové 8](#_Toc81812950)

[4. Ověření vlastností funkčního vzorku 11](#_Toc81812951)

[5. Závěr 11](#_Toc81812952)

Úvod

Na základě smlouvy o poskytnutí podpory číslo FV20149 byly ověřeny parametry funkčního vzorku chemicky odolné spárovací hmoty v rámci řešení projektu MPO FV20149 "Ucelený systém pro sanaci chemicky atakovaných a namáhaných stavebních konstrukcí".

1. Popis testovaného vzorku

Směs surovin, z nich je připravena chemicky odolná spárovací hmota, je navržena tak, že vyšší podíl jemných frakcí plniva zaručuje dobré utěsnění spár mezí zdícími prvky. Zároveň může být finální povrch spár hladký, což vede k menšímu ulpívání nečistot, kondenzaci vlhkosti a vzniku eventuálních inkrustací na povrchu spár. Aplikací spárovací hmoty je možné dosáhnout zvýšení odolnosti vůči abrazi sanované zděné konstrukce a utěsnění celého systému, což je spjaté s nízkou kapilární absorpcí funkčního vzorku. Dále se spárovací hmota vyznačuje, na poměry hmot na cementové bázi, nadstandardní odolností v acidickém prostředí kanalizačních stok.

Vzhledem k výše zmíněným požadavkům patří mezi základní charakteristiky vysoká hutnost cementového kamene a s tím související nízká nasákavost cementového kamene. Tyto požadavky jsou zajištěny použitím portlandského cementu (CEM I 42,5R) jako pojiva a příměsí ve formě jemně mletého vápence, živcových odprašků a vysokoteplotního popílku. Podíl jemnozrnných příměsí má pozitivní vliv na dobrou distribuci částic, zpracovatelnost čerstvé spárovací hmoty a dále na omezení objemových změn malty v prvních dnech zrání.

Použití vysokoteplotního popílku představuje ekonomicky a ekologicky výhodný způsob využití druhotné suroviny, kdy je určitá část pojiva nahrazena druhotnou surovinou při zlepšení výsledných vlastností spárovací hmoty.

Omezení množství záměsové vody je zajištěno použitím směsi suchých práškových plastifikačních přísad v množství 3,1 % z hmotnosti cementu a vysokoteplotního popílku. Směs přísad zároveň obsahuje jemná polypropylenová vlákna a krystalizační přísadu, a to pro omezení vývinu raných smršťovacích trhlin, resp. pro zajištění dalšího utěsnění výsledného cementového kamene. Laboratorním testováním byla dávka směsi přísad optimalizována k dosažení vynikajících fyzikálně-mechanických charakteristik a chemické odolnosti cementového kamene.

Receptura chemicky odolné spárovací hmoty je navržena tak, aby ve výsledném sanačním systému plnila funkci hmoty pro kvalitní utěsnění mezer mezi zdícími prvky. Vznikla tak unikátní nová hmota, vyznačující se jednoduchou aplikovatelností, vysokým odporem vůči kapilární absorpci a velmi dobrou chemickou odolností.

1. Receptura chemicky odolné spárovací hmoty.

|  |  |
| --- | --- |
| **Surovina** | **Množství (hm. %)** |
| Portlandský cement CEM I 42,5 R | 19,6 |
| Směs přísad | 0,9 |
| Vysokoteplotní popílek | 8,4 |
| Jemně mletý vápenec | 14,1 |
| Živcové odprašky | 6,0 |
| Směs křemičitých písků 0.063 - 1.0 mm | 51,0 |

**A) POJIVA:**

* **Cement CEM I 42,5 R** – Portlandský cement

**B) PLNIVA:**

* **Vysokoteplotní popílek**
* **Jemně mletý vápenec**
* **Živcové odprašky**
* **Směs křemičitých písků 0,063 - 1,0 mm**

**C) DALŠÍ SLOŽKY:**

* **Směs přísad** – plastifikační a krystalizační přísada, polypropylenová vlákna

Chemicky odolná spárovací hmota byla vyrobena v potřebném množství v laboratořích vědecko-výzkumného centra AdMaS při respektování následující metodiky.

2. Metodika přípravy chemicky odolné spárovací hmoty

2.1 Proces přípravy chemicky odolné spárovací hmoty

Použitý vysokoteplotní popílek z elektrárny Chvaletice je dostupný jako směs popílků z jednotlivých odlučovačů. Zastoupení popílků z jednotlivých odlučovačů ve směsi podléhá požadavkům normy ČSN 72 2071 Popílek pro stavební účely, surovinu tedy nebylo nutné nijak upravovat.

Pro správné spolupůsobení všech složek obsažených ve spárovací hmotě, byly veškeré vstupní suroviny homogenizovány. Homogenizace byla provedena pomocí kontejnerového homogenizátoru typ HMG 14/2 vyrobeného společností VUGI Brno. Pro zajištění dokonalého promísení jednotlivých složek byla doba homogenizace stanovena na 30 minut.

Výroba čerstvé směsi byla prováděna v souladu s normou ČSN EN 196-1. Doba míchání byla 4 minuty a 30 ± 5 sekund. Po zamíchání byla ověřena konzistence čerstvé malty v souladu s normou ČSN EN 1015−3 s použitím střásacího stolku, přičemž jako optimální konzistence byla stanovena 150 ± 15 mm.

Veškeré míchání bylo prováděno v laboratorní míchačce s nuceným oběhem při nastavených otáčkách v souladu s normou ČSN EN 196-1 a v laboratorních podmínkách (23±2 °C, 55±5% relativní vlhkosti vzduchu).

2.2 Ověřování parametrů chemicky odolné spárovací hmoty

Na čerstvé spárovací hmotě byla nejprve provedena zkouška konzistence s použitím střásacího stolku. Pro stanovení pevnosti v tlaku byla směs plněna do zkušebních forem o rozměrech 40∙40∙160 (mm). Zkušební tělesa potřebná pro ověření chemické odolnosti byla také vyráběna plnění do zkušebních forem o rozměrech 40∙40∙160 (mm). Pro stanovení odporu vůči kapilární absorpci byla vyhotovena kruhová zkušební tělesa o průměru 100 mm a minimální tloušťce 20 mm.

3. Metodika prováděných zkoušek

Odkazy na dílčí normativní předpisy, podle kterých se při zkouškách postupovalo, jsou uvedeny v následující tabulce.

1. Odkazy na příslušné normativní předpisy a typ zkušebních vzorků či těles.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Zkouška** | **Označení normy** | **Typ vzorku nebo rozměr zkušebního tělesa** |
| Stanovení konzistence | ČSN EN 1015-3. Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střásacího stolku) | Čerstvá malta |
| Stanovení pevnosti v tlaku | ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku | 40∙40∙160 (mm) |
| Stanovení odporu ke kapilární absorpci | ČSN EN 13057 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení odporu ke kapilární absorpci | Ø 100∙20 (mm) |
| Stanovení chemické odolnosti v roztoku kyseliny sírové | DIN 19573:2016-03 Mortar for construction and rehabilitation of drains and sewers outside buildings | 40∙40∙160 (mm) |

3.1 Stanovení konzistence

Konzistence čerstvé malty byla stanovena dle normy ČSN EN 1015-3. Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střásacího stolku). Výstupem této zkoušky je konzistence čerstvé malty charakterizovaná hodnotou rozlití. Ta se stanoví změřením průměru rozlitého zkušebního vzorku čerstvé malty umístěné na předepsané desce střásacího stolku pomocí předepsaného kovového kužele po předepsaném počtu svislých pádů, při nichž se deska střásacího stolku zvedá a pak volně padá z předepsané výšky.

Na základě poznatků z dlouhodobého laboratorního testování byl vodní součinitel pro spárovací hmotu volen tak, aby výsledná konzistence čerstvé malty byla 150 ± 15 mm.

Obrázek 1: Homogenizovaná spárovací hmoty (vlevo); stanovení konzistence (vpravo).

3.2 Stanovení pevnosti v tlaku

Pevnost v taku spárovací hmoty byla provedena dle ČSN EN 1015-11. Zkoušení bylo prováděno na šesti zlomcích zkušebních tělesech o velikosti 40∙40∙160 (mm), po 28 dnech zrání. Z naměřených hodnot (po 28 dnech) byla, podle následujícího vztahu, vypočítána výsledná hodnota pevnosti v tlaku zkoušených těles:

*f = F / A [N/mm2]*

kde F je maximální zatěžovací síla při porušení [N]

A je zkoušená plocha o velikost 1 600 mm2.

Průměrná hodnota pevnosti zkušebních těles se vypočítá s přesností 0,1 N/mm2.

Obrázek 2: Zkušební tělesa 40∙40∙160 (mm).

3.3 Stanovení odporu ke kapilární absorpci

Zkušební tělesa pro stanovení odporu ke kapilární absorpci, o průměru 100 mm a minimální tloušťce 20 mm, byla vyrobena hutněním do kruhových forem o předepsaných rozměrech. Kapilární absorpce se měří na uhlazeném honím čele zkušebního tělesa. Zkušební tělesa jsou umístěna v laboratorním prostředí, přičemž zkušebním čelním povrchem jsou ponořena do takového množství vody, ale výška hladiny po stranách každého tělesa byla 2±1 mm. V předem daných časových intervalech se zaznamenává vzestup absorbované vody patrný na povrchu zkušebního tělesa, zároveň se zaznamenává hmotnostní přírůstek.

Vzestup vody na jednotku plochy (i) se vypočte pro každý časový přírůstek z hmotnosti absorbované vody (kg) dělené plochou zkušebního čelního povrchu (m2). Jedním z vyjádření výsledků je tzv. sorpční koeficient. Do grafu se vynese „i“ v závislosti na druhé odmocnině doby ponoření (v hodinách). Stanoví se gradient výsledné přímky, která má být lineární. Gradient přímky se definuje jako sorpční koeficient S (kg∙(m2∙min0,5)-1).

Požadavek na odpor ke kapilární absorpci je v případě spárovací hmoty S < 0,2 kg∙(m2∙min0,5)-1.

Obrázek 3: Stanovení odporu ke kapilární absorpci (vlevo), záznam hmotnostního přírůstku v čase (vpravo).

3.4 Stanovení chemické odolnosti v roztoku kyseliny sírové

Odolnost funkčního vzorku vůči působení agresivního roztoku kyseliny byla stanovena dle DIN 19573. jedná o zrychlenou laboratorní simulaci působení biogenní kyseliny sírové na povrch zkušebních těles, pro ověření účinnosti zkoušené malty. Výše zmíněná norma předepisuje testování chemické odolnosti vzorků v roztocích různé koncentrace, chemické zatěžování je tak možné přizpůsobit specifickým požadavkům kladeným na danou maltu a zároveň jsou odlišné i získané parametry a požadované hraniční hodnoty. Na základě předcházejícího testování byla pro funkční vzorek vybrána nejsilnější koncentrace roztoku kyseliny sírové c(H2SO4) =1,0 mol/l, tedy pH=0. V následující tabulce jsou uvedeny parametry a požadavky normy DIN 19573.

1. Parametry a požadavky normy DIN 19573 pro stanovení chemické odolnosti.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **pH roztoku** | **Molární koncentrace** | **Doba expozice** | **Parametr** | **Požadavek normy** |
| **[pH]** | **[mol/l]** | **[dny]** | **-** | **-** |
| 0 | 1 | 14 | Zbytková pevnost v tlaku | > 55 % |
| Hloubka koroze | < 5,2 mm |

Zkušební tělesa 160∙40∙40 (mm) jsou po odformování uložena do vodního uložení, kde jsou ponechána 60 dní. Po uplynutí této doby jsou rozřezána napůl. Vzniklé hranoly (±)80∙40∙40 (mm) jsou následně důkladně opískovány, tak aby byly odstraněny všechny nesoudržné částice a svrchní vrstva cementového tmelu. Následně jsou zaznamenány rozměry jednotlivých hranolů. Dále jsou tělesa vysušena při 70 ± 5 °C do ustálení hmotnosti, zvážena a znovu umístěna do vodního uložení. Po opětovném nasáknutí hranolů je opět zaznamenána jejich hmotnost a 6 zkušebních těles je umístěno do nádrže s předpřipraveným roztokem kyseliny sírové. Mezi vrstvy těles jsou umístěny rošty tak, aby mezi tělesy byl dostatek prostoru pro proudění expozičního roztoku. Koncentrace roztoku je v průběhu expozice pravidelně kontrolována a je udržováno předepsané pH=0.

Stejné množství těles je uloženo do nasyceného roztoku Ca(OH)2, přičemž tato tělesa slouží jako referenční tělesa.

Obrázek 4: Bedna pro chemické uložení (vlevo), rozstřikovací rampa pro rovnoměrné promísení roztoku H2SO4 (uprostřed), zkušební tělesa uložená v roztoku H2SO4.

Po uplynutí předepsané doby (14 dní) vystavení zkušebních těles působení agresivního prostředí jsou daná tělesa vyjmuta, je zdokumentován jejich stav, pískováním jsou odstraněny všechny nesoudržné částice je zaznamenána jejich hmotnost.

V další fázi úpravy je ze středu každého hranolu vyřezáno zkušební těleso o h=40 mm (± 1 mm). Řezané plochy jsou v případě potřeby broušeny tak, aby byly obě plochy vzájemně rovnoběžné a opět jsou zaznamenány rozměry zkušebních těles. Na takto upravených zkušebních tělesech je stanovena zbytková pevnost v tlaku, a to dle ČSN EN 196 1.

Obrázek 5: Proces přípravy zkušebních těles funkčního vzorku, zleva: před uložením do roztoku H2SO4; po odstranění korozních zplodin; srovnání referenčních těles (dole) a těles vystavených roztoku H2SO4; vyřezaná zk. tělesa o h=40 mm (± 1 mm).

Stejným způsobem jsou z referenčních těles uložených v zásaditém roztoku Na(OH)2 vyrobeny kostky o rozměrech 40∙40∙40 (mm). Naměřená pevnost v tlaku u těchto kostek slouží jako referenční hodnota při výpočtu relativní změny pevnosti v tlaku a pro vizuální porovnání případné povrchové koroze na zkušebních vzorcích uložených v roztoku kyseliny sírové. Kromě zbytkové pevnosti v tlaku je výstupem tohoto testu i celková hloubka koroze Xf,D, která se také vztahuje k pevnosti v tlaku. Tuto charakteristiku získáme ze vztahu:

kde *d0* je průměrná konečná délka hrany zkušebního tělesa jako *√(a∙b)* (*a*, *b* = délka hran průřezu) [mm]

 *FD,acid* zkušební zatížení korodovaného zkušebního tělesa [kN]

 *FD,water* zkušební zatížení referenčního zkušebního tělesa [kN].

4. Ověření vlastností funkčního vzorku

Při ověřování funkčního vzorku chemicky odolné spárovací hmoty bylo nejprve, na maltě v čerstvém stavu, provedeno stanovení konzistence rozlitím s použitím střásacího stolku. Následně byla stanovena pevnost v tlaku zkušebních těles po 28 dnech zrání. Po 60 dnech zrání bylo u dalších zkušebních těles započato stanovení chemické odolnosti v roztoku kyseliny sírové o molární koncentraci c(H2SO4) =1,0 mol/l. Po 90 dnech zrání byl stanoven odpor funkčního vzorku vůči kapilární absorpci.

Testovaná chemicky odolná spárovací hmota prokázala velmi dobré vlastnosti. Hodnota rozlití byla 145,0 mm. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku činila 40,2 N/mm2. Hloubka koroze zkušebních těles vystavených po dobu 14 dní působení roztoku kyseliny sírové o koncentraci c(H2SO4) =1,0 mol/l byla 1,674 mm a úbytek pevnosti v tlaku byl 19,5 %. Veškeré získané výsledky jsou rovněž přehledně znázorněny v tabulce níže. Odpor vůči kapilární absorpci dosáhl hodnoty 0,11 kg∙(m2∙min0,5)-1.

1. Výsledky laboratorního stanovení parametrů funkčního vzorku.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Zkouška** | **Jednotka** | **Výsledek** |
| Stanovení konzistence – rozlití | [mm] | 145,0 |
| Stanovení pevnosti v tlaku | [N/mm2] | 40,2 |
| Stanovení odporu ke kapilární absorpci | [kg∙(m2∙min0,5)-1] | 0,11 |
| Stanovení chemické odolnosti v roztoku kyseliny sírové – hloubka koroze | [mm] | 1,674 |
| Stanovení chemické odolnosti v roztoku kyseliny sírové – úbytek pevnosti | [%] | 19,5 |

5. Závěr

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ověření vlastností funkčního vzorku „Chemicky odolná spárovací hmota“ bylo úspěšné a výsledkem je unikátní hmota s požadovanými užitnými vlastnostmi.

V Brně dne 20.08.2021

|  |  |
| --- | --- |
|  | Ing. Petr FigalaVysoké učení technické v Brně |