

# PŘÍSPĚVEK K TORKRETACI ZTEKUCENÝCH ŽÁROBETONŮ

Ing. Milan Henek, CSc.

*Průmyslová keramika, spol. s r.o., Rájec-Jestřebí*

Ing. Miroslav Vajda

*RAMIRA PRAHA-ZÁPAD, Třebotov*

## 1. ÚVOD

Torkretování (stříkání) je velmi efektivní, výkonná a poměrně jednoduchá metoda ukládání a zhutňování monolitických žárovzdorných vyzdívek. V žárotechnice výrazně převažuje tzv. suchá (někdy nazývaná polosuchá) metoda. Pro stříkání jsou dlouhodobě známy a používány běžné torkretovací žárobetony. Uvedené žárobetonové směsi vycházejí svým složením z běžných hutných nebo izolačních žárobetonů, což značí že obsahují vysoký podíl hydraulického pojiva – hlinitanového cementu. Tím pádem vnášejí do vyzdívky i všechny známé nedostatky obyčejných žárobetonů, jako jsou vysoká pórovitost, pokles pevnosti s teplotou, špatná odolnost matrixu korozi a mnohé další. Případné stříkání kvalitních ztekucených žárobetonů se sníženými obsahy cementů má však značná technická i technologická úskalí a doposud není v žárotechnické praxi příliš rozšířeno. Předložený článek se zabývá reálnými možnostmi uplatnění metody suchého torkretování i pro skupinu ztekucených žárobetonů se sníženými obsahy cementu.

## 2. PROBLÉMY A OMEZENÍ SUCHÉHO TORKRETOVÁNÍ ZTEKUCENÝCH ŽÁROBETONŮ

Úvodem je třeba zmínit, že k nanášení ztekucených žárobetonových směsí je známa metoda zvaná „Shotcreting“. Vyžaduje však velmi nákladné instalační zařízení a je vhodná pro nanášení velkých objemů vyzdívky, nejlépe trvale na jednom pracovišti. V žárotechnické praxi se však vyskytují stovky aplikací se stříkáním menších množství, u různých provozovatelů tepelných zařízení a v různých částech těchto agregátů, které mohou být mnohdy špatně přístupné. Proto je tento příspěvek věnován pouze klasickému suchému torkretování.

### 2.1. Co omezuje stříkání ztekucených žárobetonů

Při suché metodě je žárobetonová směs v suchém stavu torkretovacím strojem transportována hadicemi do stříkací pistole (trysky), kam je přiváděna záměsová voda, zde dochází k zavlhčení směsi a dále k jejímu prudkému nastříkání na místo uložení. Záměsová voda složí jednak ke smáčení všech částic směsi, čímž se vlastně usnadní její zhutnění. Dále pak k hydrataci cementového pojiva, což umožňuje reakce vedoucí k postupnému tuhnutí a tvrdnutí. Od vibrovatelných žárobetonů se torkretovací odlišují také zrnitostí, např. vyšším podílem jemných složek, omezením tekutosti, zvýšenou adhezí, rychlým počátkem tuhnutí apod.

Z důvodů známých nedostatků běžných žárobetonů byly vyvinuty žárobetony ztekucené se sníženými obsahy hlinitanového cementu. Jejich bezpodmínečnou součástí jsou přísady nazývané ztekucovače. Aby se projevila účinnost těchto látek, musí se napřed během mísení rozpustit ve vodě. Tento děj je však minutová záležitost, což je známý fakt, kdy se žárobetony tohoto typu po přidávku vody jeví při míchání suché, a až po nějaké době dojde k jejich ztekucení. Proto lze tyto směsi instalovat hlavně vibrací, dusáním, nebo zmíněnou metodou „Shotcreting“. Obtížně však torkretováním, kdy čas od přidávku vody do uložení na místo se počítá v řádech desetin vteřiny.

## 2.2. Dřívější zkoušky stříkání ztekucených žárobetonů

Provozní zkoušky suché torkretace LCC a MCC žárobetonů bez jakýchkoliv úprav jsme prováděli již před asi 10 lety. Při pohledu na následující *tabulku 1* vypadají výsledky stanovené na nastříkaných tělesech poměrně uspokojivě. Naprosto nevyhovující však bylo vlastní torkretování po stránce technologické. Při stříkání docházelo k vysokému odpadu odrazem hlavně hrubých částí, nastříkaná směs vykazovala špatnou adhezi a stékala. Stříkání na kolmou stěnu bylo velmi obtížné, na strop prakticky neproveditelné. Zkušební tělesa byla nakonec vytvořena stříkáním do deskových forem šikmo uložených.

*Tab. 1 Zkoušky torkretování LCC žárobetonu NOVOBET 1300*

| Ozn. vzorku               |         | RN-13-1   | RN-13-4         | RN-13-2                    |
|---------------------------|---------|-----------|-----------------|----------------------------|
| Popis vzorku              |         | vibrovaný | stříkaný        | Stříkaný s 4% předvlhčením |
| Posouzení nanášení vrstvy |         |           | <b>nevhodné</b> | <b>nevhodné</b>            |
| Voda                      |         | 7,7       |                 |                            |
| OH $kg/m^3$               | 110 °C  | 2190      | 2110            | 2130                       |
|                           | 800 °C  | 2190      | 2050            | 2110                       |
|                           | 1300 °C | 2180      | 2060            | 2060                       |
| PT $MPa$                  | 110 °C  | 71,8      | 38,4            | 46,7                       |
|                           | 800 °C  | 62,2      | 47,4            | 47,1                       |
|                           | 1300 °C | 59,1      | 52,3            | 50,5                       |
| ZP %                      | 800 °C  | 19,3      | 22,9            | 22,5                       |
|                           | 1300 °C | 17,6      | 22,7            | 22,8                       |
| TDZ %                     | 800 °C  | -0,2      | -0,2            | -0,3                       |
|                           | 1300 °C | -0,4      | -0,6            | -0,5                       |

Pro další sérii byla v té době připravena směs s upravenou zrnitostí (snížením podílu hrubých zrn) a průmyslově vyráběnou přísadou zlepšující adhezi a zamezující stékání. Uvedená směs nebyla vibrovatelná (pod vibrační netekla), takže nebylo možné porovnat hodnoty stanovené na nastříkaných tělesech s vibrovanými u stejné směsi. Jako referenční hodnoty jsou v následující *tabulce 2* opět uvedeny údaje od neupraveného vibrovaného žárobetonu. Technologicky se chovala upravená směs při torkretování lépe, stále však nebylo v tomto směru dosaženo úrovně běžných torkretovacích žárobetonů.

*Tab. 2 Zkoušky torkretování LCC žárobetonu NOVOBET 1300 s úpravou*

| Ozn. vzorku               |         | RN-13-1              | RN-13-8                 | RN-13-6                    |
|---------------------------|---------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| Popis vzorku              |         | vibrovaný bez úpravy | stříkaný                | Stříkaný s 4% předvlhčením |
| Posouzení nanášení vrstvy |         |                      | <b>s velkým odpadem</b> | <b>s velkým odpadem</b>    |
| Voda                      |         | 7,7                  |                         |                            |
| OH $kg/m^3$               | 110 °C  | 2190                 | 2040                    | 2040                       |
|                           | 800 °C  | 2190                 | 1970                    | 1960                       |
|                           | 1300 °C | 2180                 | 1980                    | 1970                       |
| PT $MPa$                  | 110 °C  | 71,8                 | 51,3                    | 38,1                       |
|                           | 800 °C  | 62,2                 | 44,5                    | 46,6                       |
|                           | 1300 °C | 59,1                 | 50,0                    | 42,7                       |
| ZP %                      | 800 °C  | 19,3                 | 27,5                    | 28,0                       |
|                           | 1300 °C | 17,6                 | 25,1                    | 26,0                       |
| TDZ %                     | 800 °C  | -0,2                 | -0,4                    | -0,3                       |
|                           | 1300 °C | -0,4                 | -0,7                    | -0,5                       |

Velmi se však zhoršila hutnost nastříkané vrstvy, jak je vidno z hodnot objemové hmotnosti a pórovitosti. V té době bylo z naší strany od dalších zkoušek a aplikací s torkretováním ztekucených žárobetonů prakticky upuštěno. V průběhu dalších let jsme realizovali v malém rozsahu jen několik menších nástříků s MCC žárobetony.

V poslední době však často přicházely požadavky na torkretované vyzdívky z nízkocementových žárobetonů v kvalitě blížící se vyzdívám vibrovaným. Zájem přicházel např. od provozovatelů cementářských pecí. Jedná se o kritická místa vyzdívek ve výměnících, kalcinátorech, různých spalinových kanálech ap. Při současném „boomu“ využití alternativních paliv nastávají v těchto místech podmínky, kdy běžné torkretovací žárobetony už naprosto nevyhovují. Zkrácení doby zimních oprav zase neumožňuje zvládnout veškeré vyzdívky litím ztekucených žárobetonů do bednění. Proto zde vzniká poptávka po kvalitativně srovnatelném torkretovacím žárobetonu. Další oblastí zájmu po těchto materiálech jsou různé energetické kotle a topeniště, ať už se zde jedná o nástříky membrán, nebo částí agregátů vystavených otěru a další možná tepelná zařízení.

### **3. VÝVOJ ZTEKUCENÝCH SMĚSÍ SCHOPNÝCH TORKRETOVÁNÍ**

Zadáním vývoje bylo připravit a ověřit žárobetonovou směs se sníženým obsahem cementu, nejlépe typu LCC, která by se po nastříkání svými fyzikálně-mechanickými parametry co nejvíce blížila vyzdívkám zhotoveným litím. Torkretovací žárobetony se doposud převážně testují na tělesech vyráběných vibračním litím, popřípadě zadusáním. Parametry žárobetonů u takto připravených těles mohou být a ve skutečnosti také jsou zcela odlišné od reálně torkretované žárobetonové vyzdívky. V našem případě jsme proto volili cestu zhotovování zkušebních těles torkretováním s pomocí provozního zařízení.

#### **3.1 Popis sestavy torkretovacího zařízení**

Pro vytváření zkušebních těles bylo připraveno provozní torkretovací zařízení v následující sestavě:

- 1) Variátorový torkretovací stroj s rotačním kapsovým dávkovacím bubnem s plynulou regulací otáček bubnu, výkon stroje 0,6-3,2 m<sup>3</sup>/hod při tlaku vzduchu 0,6 MPa;
- 2) Devítičlankové vodní čerpadlo, tlak vody 1,2 MPa;
- 3) Pojízdňový pístový dvojestupňový kompresor DK 661;
- 4) Torkretovací hadice o vnitřním průměru 42 mm a délce 40 m;
- 5) Tři typy torkretovacích pistolí

Typ A) Klasická torkretovací pistole s otvory po obvodu zavodňovacího kroužku a s krátkým nástavcem;

Typ B) Torkretovací pistole s prodlouženým nástavcem se štěrbinou po obvodu zavodňovacího kroužku, vytvářející vodní stěnu v celém průřezu zavodňovacího kroužku;

Typ C) Torkretovací pistole s prodlouženým nástavcem s vodním kroužkem vytvářejícím vodní kužel a s přídatným tlakovým vzduchem k zajištění jemnějšího rozprášení vody v procházející suché žárobetonové směsi;

6) Torkretovací stroj spojený s torkretovací pistolí byl spojen hadicemi o délce 40 m v horizontální poloze s tím, že torkretovací stroj a místo torkretování zkušebních vzorků bylo ve stejné úrovni.

7) Formy na vytváření zkušebních těles byly o minimální tloušťce 100 mm a rozměrů min 600x 600 mm.

### 3.2 Ověření torkretovacích pistolí

Prvním krokem zkušební série stříkání bylo porovnání účinnosti (vhodnosti) připravených torkretovacích pistolí (trysek). Vlastní ověření bylo provedeno na běžném hutném torkretovacím žárobetonu o složení uvedeném v následující tabulce 3.

Tabulka 3 Složení běžného hutného torkretovacího žárobetonu DTB

| Směs   |          | DTB |
|--|----------|-----|
| Pálený kaolin 0-6mm                                    | hmot.díl | 65  |
| Mletý šamot pod 0,1 mm                                 | hmot.díl | 9   |
| Hlinitanový cement 70 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | hmot.díl | 25  |
| Komplexní adhezní přísada                              | hmot.díl | 1   |

Tabulka 4 Porovnání zkušebních těles ze směsi DTB zhotovených různými torkretovacími pistolemi

|                           | Teplota výpalu |                    | DTB-TA             | DTB-TB             | DTB-TC             | DTB-V   |
|---------------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| Torkretovací pistole      |                |                    | Typ A              | Typ B              | Typ C              | vibrace |
| Rozdělovací. voda         |                | l/100 kg           |                    |                    |                    | 11      |
| Posouzení nanášení vrstvy |                |                    | <b>velmi dobré</b> | <b>velmi dobré</b> | <b>velmi dobré</b> |         |
| Objemová hmotnost         | 110            | kg.m <sup>-3</sup> | 2070               | 2130               | 2110               | 2140    |
|                           | 400            | kg.m <sup>-3</sup> | 1900               | 2000               | 1970               | 2030    |
|                           | 800            | kg.m <sup>-3</sup> | 1900               | 1960               | 1920               | 2000    |
|                           | 1200           | kg.m <sup>-3</sup> | 1900               | 1970               | 1920               | 1990    |
|                           | 1400           | kg.m <sup>-3</sup> | 1930               | 2000               | 2010               | 1980    |
|                           | 1450           | kg.m <sup>-3</sup> | 1970               | 2090               | 1840               | 1970    |
| Pevnost v tlaku           | 110            | MPa                | 62,8               | 85,4               | 95,5               | 88,3    |
|                           | 400            | MPa                | 53,7               | 77,1               | 82,6               | 73,7    |
|                           | 800            | MPa                | 44,5               | 60,9               | 73,6               | 57,9    |
|                           | 1200           | MPa                | 32,3               | 42,0               | 58,9               | 60,4    |
|                           | 1400           | MPa                | 36,2               | 48,7               | 40,5               | 33,3    |
|                           | 1450           | MPa                | 29,1               | 68,4               | 40,6               | 93,5    |
| Zdánlivá pórovitost       | 400            | %                  | 30,5               | 28,1               | 29,2               | 26,7    |
|                           | 800            | %                  | 32,4               | 31,3               | 32,4               | 28,5    |
|                           | 1200           | %                  | 33,1               | 29,2               | 32,7               | 29,2    |
|                           | 1400           | %                  | 25,5               | 23,3               | 22,3               | 25,0    |
|                           | 1450           | %                  | 23,2               | 18,5               | 20,6               | 21,4    |
| Trvalé délkové změny      | 400            | %                  | -0,05              | -0,14              | -0,26              | -0,04   |
|                           | 800            | %                  | -0,05              | -0,16              | -0,04              | -0,08   |
|                           | 1200           | %                  | -0,22              | -0,17              | -0,21              | -0,34   |
|                           | 1400           | %                  | -0,50              | -0,77              | -1,04              | +0,15   |
|                           | 1450           | %                  | -1,17              | -1,05              | +0,52              | +0,34   |
| Otěruvzdornost            | 800            | cm <sup>3</sup>    |                    | 18,2               |                    | 13,1    |

Ze běžného žárobetonu uvedeného složení byly za použití všech tří typů pistolí nastříkány zkušební desky, které byly po zatvrdnutí rozřezány na zkušební tělesa, na kterých byly stanoveny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Výsledné hodnoty jsou zaneseny

do *tabulky 4*, pro porovnání jsou uvedeny také parametry stanovené na tělesech zhotovených z této směsi vibrací. Výsledky ukázaly významný vliv výběru torkretovací pistole na zhutnění nanesené žárobetonové vrstvy.

### 3.3 Nízkocementový torkretovací žárobeton

Pro stříkání nízkocementového žárobetonu byla připravena základní receptura **LTB**, která vycházela z dosavadních zkušeností se stříkáním LCC směsí. Na úvod této série zkoušek byly opět u základní směsi LTB provedeny nástřiky se všemi typy torkretovacích pistolí. Při praktickém stříkání se však nedařilo zhotovovat tělesa s pistolí Typ C. Projevoval se velmi úzký přechod při regulaci přídatku vody mezi stékáním nanášené vrstvy a prášením doprovázeným zvýšeným odpadem.

Opět se projevil rozdíl mezi oběma testovanými pistolemi, takže všechny další tělesa již byla připravována s pistolí Typu B, která vytváří vodní stěnu v celém průřezu zavodňovacího kroužku. Základní receptura LTB umožňuje nanášení směsi jak na stěny i na strop, ale dle individuálního posouzení obsluhy „je to tak na hraně“. Nelze tedy vyloučit problémy např. při použití jiného typu pistole, nebo kdyby stříkala méně zkušená osádka. Proto byla základní receptura dopována přídatky, u kterých se předpokládal vliv na zlepšení nanášení a přilnavosti, ale i na zvýšení hutnosti a pevnosti nanesené vrstvy. Složení zkoušených směsí je uvedeno v následující *tabulce 5*.

*Tabulka 5 Složení nízkocementových torkretovacích směsí LTB*

| <i>Směs</i>  |          | <i>LTB</i> | <i>LTB-3</i> | <i>LTB-5</i> | <i>LTB-6</i> | <i>LTB-8</i> |
|--|----------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Pálený kaolin 0-6mm                                    | hmot.díl | 60         | 60           | 60           | 60           | 60           |
| Mletý šamot pod 0,1 mm                                 | hmot.díl | 15         | 15           | 15           | 15           | 15           |
| Reaktivní mikronizované oxidy                          | hmot.díl | 15         | 15           | 15           | 15           | 15           |
| Hlinitanový cement 70 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | hmot.díl | 5          | 5            | 5            | 5            | 5            |
| Komplexní adhezivní přísada                            | hmot.díl | 4          | 4            | 4            | 4            | 4            |
| Komplexní ztekucovač                                   | hmot.díl | 1          | 1            | 1            | 1            | 1            |
| Anorganická adhezivní přísada                          | hmot.díl |            | 1            | 1            | 1            |              |
| Organická adhezivní přísada                            | hmot.díl |            |              | 0,2          | 0,2          |              |
| Ztekucovač   | hmot.díl |            |              |              | 0,1          |              |
| Prům. přípravek pro LCC nástřiky                       | hmot.díl |            |              |              |              | 1            |

Získané výsledky z této série stříkání uvádí následující *tabulka 6*. Podotýkáme, že ověřovaných přísad a jejich kombinací bylo daleko více, než je uvedeno v tabulce. Některé byly bez výrazného účinku, jiné zase zlepšovali přilnavost, ale zároveň zhoršovaly zhutnění, jako příklad je uvedena receptura LTB-8. Pro srovnání jsou v tabulce opět porovnány hodnoty zjištěné u základní směsi LTB vibrováním.

Z pohledu na údaje v tabulce je zřejmé, že torkretováním ztekuceného nízkocementového žárobetonu se zcela nedosáhne hodnot jako u vibrovaných vzorků. Torkretované materiály (LTB-3, LTB-5, LTB-6) však poskytují hodnoty, které odpovídají velmi kvalitním žárobetonům. To se týče jednak hutnosti žárobetonů ale i mechanických pevností. S ohledem na případné aplikace vystavené abrazi, byla u většiny zkoušených směsí stanovena i otěrvzdornost (dle ČSN EN 993-20). Tělesa pro tuto zkoušku byla předpálena na 800 °C.

Tabulka 6 Porovnání zkušebních těles zhotovených torkretováním nízkocementové směsí **LTB** s různými přísadami

|                           | Teplota výpalu |                    | LTB-TA        | LTB-TB        | LTB-3              | LTB-5              | LTB-6              | LTB-8              | LTB-V          |
|---------------------------|----------------|--------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Torkretovací pistole      |                |                    | Typ A         | Typ B         | Typ B              | Typ B              | Typ B              | Typ B              | <i>vibrace</i> |
| Rozdělovací. voda         |                | l/100 kg           |               |               |                    |                    |                    |                    | 6,0            |
| Posouzení nanášení vrstvy |                |                    | <b>průměr</b> | <b>průměr</b> | <b>velmi dobré</b> | <b>velmi dobré</b> | <b>velmi dobré</b> | <b>velmi dobré</b> |                |
| Objemová hmotnost         | 110            | kg.m <sup>-3</sup> | 2050          | 2150          | 2160               | 2160               | 2160               | 2070               | 2230           |
|                           | 400            | kg.m <sup>-3</sup> | 2010          | 2110          | 2090               | 2110               | 2100               | 2030               | 2180           |
|                           | 800            | kg.m <sup>-3</sup> | 2020          | 2120          | 2100               | 2100               | 2100               | 2030               | 2190           |
|                           | 1200           | kg.m <sup>-3</sup> | 1980          | 2130          | 2120               | 2130               | 2130               | 2050               | 2180           |
|                           | 1400           | kg.m <sup>-3</sup> | 2020          | 2130          | 2120               | 2140               | 2160               | 2060               | 2250           |
|                           | 1450           | kg.m <sup>-3</sup> | 2070          | 2160          | 2150               | 2140               | 2140               | 2080               | 2250           |
| Pevnost v tlaku           | 110            | MPa                | 48,1          | 76,6          | 68,5               | 44,6               | 54,9               | 32,8               | 82,4           |
|                           | 400            | MPa                | 53,1          | 72,6          | 60,8               | 72,2               | 75,1               | 39,4               | 118,0          |
|                           | 800            | MPa                | 42,6          | 84,9          | 64,8               | 72,8               | 83,9               | 42,7               | 127,5          |
|                           | 1200           | MPa                | 30,2          | 72,3          | 72,2               | 80,4               | 73,8               | 48,6               | 128,8          |
|                           | 1400           | MPa                | 43,5          | 69,8          | 52,1               | 68,7               | 68,7               | 49,7               | 138,0          |
|                           | 1450           | MPa                | 61,4          | 103,7         | 82,2               | 72,3               | 57,0               | 42,0               | 143,5          |
| Zdánlivá pórovitost       | 400            | %                  | 22,6          | 19,1          | 20,5               | 17,7               | 17,8               | 21,2               | 12,3           |
|                           | 800            | %                  | 21,4          | 18,5          | 18,3               | 19,6               | 19,3               | 21,0               | 12,2           |
|                           | 1200           | %                  | 20,9          | 16,9          | 17,9               | 18,6               | 18,3               | 20,2               | 13,7           |
|                           | 1400           | %                  | 21,1          | 18,2          | 17,5               | 18,2               | 18,2               | 20,0               | 13,6           |
|                           | 1450           | %                  | 20,6          | 17,6          | 17,8               | 18,8               | 18,3               | 20,4               | 12,1           |
| Trvalé délkové změny      | 400            | ~%                 | -0,18         | -0,17         | +0,02              | -0,22              | -0,27              | -0,26              | -0,08          |
|                           | 800            | %                  | -0,42         | -0,31         | -0,31              | -0,36              | -0,27              | -0,37              | -0,40          |
|                           | 1200           | %                  | -0,39         | -0,44         | -0,52              | -0,75              | -0,78              | -0,43              | -0,31          |
|                           | 1400           | %                  | -0,74         | -0,78         | -0,71              | -0,75              | -0,88              | -0,58              | -0,67          |
|                           | 1450           | %                  | -0,89         | -0,87         | -0,92              | -0,84              | -0,96              | -0,86              | -1,04          |
| Otěruvzdornost            | 800            | cm <sup>3</sup>    |               | 14,4          | 12,5               | 11,1               | 9,7                | 19,4               | 8,6            |

### 3.4 Torkretovací žárobeton se středním obsahem cementu

V závěru zkoušek bylo též nastříkáno několik směsí žárobetonů se středním obsahem cementu, jejich složení je v *tabulce 7*.

Tabulka 7 Složení torkretovacích směsí se středním obsahem cementu **MTB**

| Směs   |          | MTB | MTB-2 |
|--|----------|-----|-------|
| Pálený kaolin 0-6mm                                    | hmot.díl | 65  | 65    |
| Mletý šamot pod 0,1 mm                                 | hmot.díl | 8   | 8     |
| Reaktivní mikronizované oxidy                          | hmot.díl | 13  | 13    |
| Hlinitanový cement 70 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | hmot.díl | 12  | 12    |
| Komplexní adhezivní přísada                            | hmot.díl | 1   | 1     |
| Komplexní ztekucovač                                   | hmot.díl | 1   | 1     |
| Anorganická adhezivní přísada                          | hmot.díl |     | 1     |

V následné tabulce 8 jsou výsledky dvou stříkaných receptur opět v porovnání hodnotami z vibrovaného tělesa. Oproti LCC žárobetonům nevzniká u směsí typu MCC tak výrazný rozdíl hodnot u obou porovnávaných instalačních metod.

Tabulka 8 Porovnání zkušebních těles zhotovených torkretováním směsí se středním obsahem cementu **MTB**

|                           | Teplota výpalu |                    | MTB-TB   | MTB-2    | MTB-V   |
|---------------------------|----------------|--------------------|----------|----------|---------|
| Torkretovací pistole      |                |                    | Typ B    | Typ B    | vibrace |
| Rozdělovací. voda         |                | l/100 kg           |          |          |         |
| Posouzení nanášení vrstvy |                |                    | průměrné | průměrné |         |
| Objemová hmotnost         | 110            | kg.m <sup>-3</sup> | 2190     | 2180     | 2260    |
|                           | 400            | kg.m <sup>-3</sup> | 2110     | 2110     | 2190    |
|                           | 800            | kg.m <sup>-3</sup> | 2100     | 2080     | 2180    |
|                           | 1200           | kg.m <sup>-3</sup> | 2100     | 2100     | 2180    |
|                           | 1400           | kg.m <sup>-3</sup> | 2140     | 2130     | 2220    |
|                           | 1450           | kg.m <sup>-3</sup> | 2170     | 2180     | 2240    |
| Pevnost v tlaku           | 110            | MPa                | 69,8     | 91,3     | 86,9    |
|                           | 400            | MPa                | 75,5     | 83,4     | 122,4   |
|                           | 800            | MPa                | 73,6     | 81,1     | 116,2   |
|                           | 1200           | MPa                | 50,2     | 57,0     | 82,0    |
|                           | 1400           | MPa                | 59,8     | 54,0     | 79,6    |
|                           | 1450           | MPa                | 52,2     | 47,8     | 74,1    |
| Zdánlivá pórovitost       | 400            | %                  | 21,7     | 19,9     | 13,3    |
|                           | 800            | %                  | 22,1     | 21,7     | 13,6    |
|                           | 1200           | %                  | 21,5     | 20,5     | 17,9    |
|                           | 1400           | %                  | 19,9     | 19,6     | 16,4    |
|                           | 1450           | %                  | 17,4     | 17,9     | 15,0    |
| Trvalé délkové změny      | 400            | %                  | -0,14    | -0,22    | -0,11   |
|                           | 800            | %                  | -0,32    | -0,25    | -0,19   |
|                           | 1200           | %                  | -0,49    | -0,31    | -0,43   |
|                           | 1400           | %                  | -1,07    | -0,90    | -1,07   |
|                           | 1450           | %                  | -1,71    | -1,63    | -1,24   |
| Otěruvzdornost            | 800            | cm <sup>3</sup>    | 11,4     | 11,4     | 8,7     |

#### 4. PRAKTICKÉ PŘÍKLADY POUŽITÍ

I když se jedná o poměrně čerstvou práci, můžeme zmínit několik provozních uplatnění popisovaných žárobetonů:

- vyzdívka horních partií kalcinátoru cementářské pece (šamotový žárobeton typ MCC);
- pracovní nástřik rotační (hruškové) pece na tavení hliníkového šrotu (vysocehlinitý žárobeton typ MCC);
- vyzdívka 5. cyklonu cementářské pece, kombinace s vibrovanou vyzdívkou ( šamotový žárobeton s přídatkem SiC, typ LCC);
- spalovací komora kotle na spalování dřevního odpadu ( šamotový alkalivzdorný žárobeton typu LCC).

## 5. ZÁVĚR

Záměrem uvedeného příspěvku bylo ověřit reálnou možnost torkretování ztekucených žárobetonů se sníženým podílem cementu, jednak pro strážce technologické proveditelnosti, ale i s ohledem na dosažení uspokojivých fyzikálně mechanických parametrů. Po provedení a vyhodnocení zkoušek je možné tvrdit:

- lze připravit směsi ztekucených žárobetonů s nízkými obsahy cementu, které je možné bezproblémově nanášet metodou suchého torkretování, což znamená s dobrou adhezí stříkané žárobetonové směsi, malým odpadem a s možností vytvářet větší konstrukční tloušťky vyzdívek od 150mm a výše;
- nastříkaná vyzdívka dosahuje velmi dobré fyzikálně-mechanické parametry, které při vyšších teplotách převyšují velmi kvalitní běžné torkretační žárobetony;
- jedná se jak o mechanické pevnosti, ale významné rozdíly jsou v pórovitostech a díky složení matrixu také v korozní odolnosti;
- provedená práce je dobrým východiskem pro další pokračování vývoje celé řady ztekucených torkretovacích směsí se zaměřením pro konkrétní aplikace;
- uvedenými žárobetony lze nahradit mnohé dosavadní aplikace s běžnými hutnými torkretovacími žárobetony a tím významně prodloužit životnost daných vyzdívek;
- dále lze jejich použití rozšířit na aplikace, kam běžné hutné žárobetony nemohly být díky svým vlastnostem vůbec navrhovány.