
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 1

ISSN 1899-3230

Rok I

Warszawa–Opole 2008

Wpływ cementu na właściwości zapraw klejowych do płytek

W artykule opisano wpływ rozdrobnienia cementu oraz dodatków mineralnych na właściwości zapraw klejowych do płytek. Przedmiotem badań były zaprawy przygotowane z cementów portlandzkich CEM I o różnym stopniu rozdrobnienia oraz zaprawy z cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II: żuźlowych i popiołowych z różną ilością dodatku żuźla i popiołu. Zbadano właściwości normowe zapraw klejowych do płytek. Wyniki badań wskazują na możliwość wykorzystania cementów żuźlowych i popiołowych do wytwarzania zapraw klejowych do płytek. Dobór odpowiedniego cementu pozwala na uzyskanie zbliżonych, a w niektórych przypadkach nawet lepszych wyników niż dla zapraw klejowych, w których spoiwem jest cement portlandzki CEM I bez dodatków.

1. Wprowadzenie

Zaprawy klejowe na spoiwie cementowym, przeznaczone do przyklejania płytek ceramicznych oraz okładzin marmurowych i kamiennych, cieszą się w kraju dużą popularnością. Na rynku krajowym rozwinął się szeroki asortyment tych wyrobów, uwzględniający m.in.:

- warunki stosowania:
 - wewnątrz pomieszczeń (tzw. kleje wewnętrzne),
 - do wnętrza i na zewnątrz pomieszczeń (tzw. kleje zewnętrzne);
- rodzaj przyklejanej okładziny:
 - płytki ceramiczne (glazura, gres, terakota, klinkier, cotto),
 - okładziny z marmuru,
 - okładziny z naturalnego kamienia,
 - specjalne, np. płyty wiórowo-cementowe, płyty dźwiękochłonne, „stare” płytki ceramiczne, itp.;
- miejsce przyklejanej okładziny:
 - na ściany,
 - na podłogi,
 - uniwersalne (na ściany i podłogi);

* Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Mineralnych Materiałów w Krakowie.

- rodzaj cementu:
 - na bazie standardowego, szarego cementu,
 - na bazie cementu białego;
- właściwości specjalne:
 - o obniżonym spływie,
 - o wydłużonym czasie otwartym pracy,
 - szybkowiązące,
 - elastyczne (opisywane jako: uelastycznione, półelastyczne, wysokoelastyczne);
- grubość nanoszonej warstwy:
 - standardowe cienkowarstwowe – nanoszone w warstwie do 5 mm,
 - średniowarstwowe – nanoszone w warstwie o grubości 5 ÷ 20 mm.

Ta duża grupa produktów objęta jest wymaganiami normy europejskiej przyjętej w kraju jako PN-EN 12004 „Zaprawy klejowe do płytek ceramicznych. Definicje i wymagania techniczne” [1, 2]. Wymieniona norma europejska, oprócz zapraw klejowych na bazie cementu (oznaczonych jako C), uwzględnia również kleje dyspersyjne D oraz kleje na bazie żywic reaktywnych R. Wymagania normowe stawiane klejom do płytek były przedmiotem wielu publikacji [3–5].

Cement portlandzki CEM I stanowi podstawowe spoiwo w recepturach zapraw klejowych do płytek. Udział cementu w recepturze waha się z reguły w granicach 30–40% masy zaprawy. Zaprawy klejowe do płytek wymagają stosowania spoiwa zapewniającego szybki przyrost wytrzymałości w czasie, stąd w recepturach tych wyrobów stosuje się prawie wyłącznie szybkowiązące cementy portlandzkie: CEM I 32,5R; CEM I 42,5R i CEM I 52,5R. Praktycznie nie stosuje się cementów CEM II–CEM V z dodatkami, pomimo że nierzadko są one produkowane o klasach wytrzymałości 32,5R, a niektóre nawet 42,5R. Wymienione cementy CEM I produkowane są obecnie w kraju wyłącznie na bazie zwykłego szarego klinkieru portlandzkiego. Za granicą (np. w Danii i na Słowacji) produkowany jest ponadto cement portlandzki CEM I biały, którego odcień jest związany głównie ze znikomą zawartością związków żelaza w klinkierze. Cement taki stosowany jest z reguły do zapraw klejowych przeznaczonych do przyklejania okładzin z marmuru lub naturalnego kamienia.

W recepturach pojedynczych zakładów produkujących zaprawy klejowe stosuje się nieduże ilości popiołu krzemionkowego V lub żuźla wielkopieczowego S przez wprowadzenie ich do wyrobu zaprawy klejowej nie jako składnika cementu, lecz odrębnego dodatku.

Mając to na uwadze, w niniejszym artykule oceniono wpływ cementów z dodatkami na właściwości zapraw klejowych do płytek. Przedmiotem badań były zaprawy z cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II żuźlowych i popiołowych, z różną ilością dodatku. W celach porównawczych przedstawiono

wyniki badań zapraw wykonanych z cementów portlandzkich CEM I o różnym stopniu rozdrobnienia.

2. Cementy zastosowane do badań

Do badań zastosowano cementy wykonane w laboratorium: poprzez wspólne zmielenie w okresowym młynku laboratoryjnym składników cementów: klinkieru, gipsu (regulatora wiązania) oraz popiołu krzemionkowego lub granulowanego żużla wielkopiecowego. Założono taki stopień rozdrobnienia poszczególnych cementów, który zapewni otrzymanie:

- trzech różnych klas wytrzymałości: 32,5R; 42,5R i 52,5R – w przypadku cementów portlandzkich CEM I,
- klasy wytrzymałości 42,5R – w przypadku cementów CEM II z dodatkami popiołu lub żużla.

Z wymienionych składników wyprodukowano siedem cementów:

- cement portlandzki:
 - CEM I 32,5R,
 - CEM I 42,5R,
 - CEM I 52,5R;
- cement portlandzki żużłowy:
 - CEM II/A-S 42,5R,
 - CEM II/B-S 42,5R,
- cement portlandzki popiołowy:
 - CEM II/A-V 42,5R,
 - CEM II/B-V 42,5R.

Udział składników w badanych cementach podano w tab. 1 – wszystkie zawierają taki sam dodatek 5-procentowego regulatora wiązania. W przypadku cementów CEM II stosowano odpowiednio 15% dodatku w cementach CEM II/A, i 30% w cementach CEM II/B.

T a b e l a 1

Skład cementów do badań

Rodzaj cementu	Składniki cementu [% masy]			
	klinkier	popiół V	żużel S	gips
CEM I 32,5R	95	–	–	5
CEM I 42,5R	95	–	–	5
CEM I 52,5R	95	–	–	5
CEM II/A-S	80	15	–	5
CEM II/B-S	66	–	30	5
CEM II/A-V	80	15	–	5
CEM II/B-V	65	–	30	5

Wszystkie badania normowych właściwości fizycznych cementów wykonano zgodnie z wytycznymi PN-EN 196 [6-9]. Wyniki badań podano w tab. 2, 3 oraz pokazano na ryc. 1, 2.

T a b e l a 2

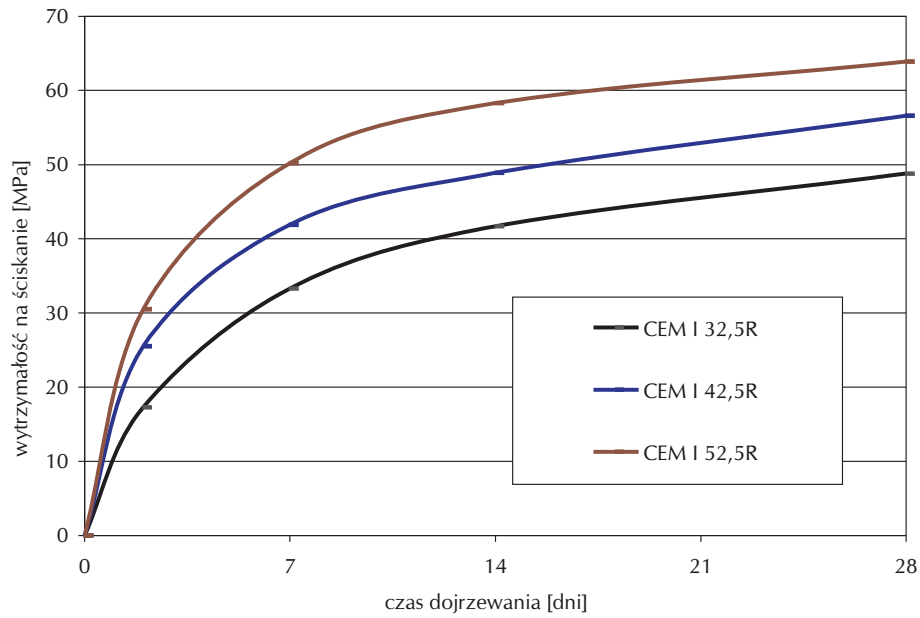
Właściwości fizyczne cementów

Rodzaj cementu	Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	Czas wiązania, [h ^{min}]		H ₂ O [%]	LeCh [mm]	Rozpływ [cm]
		początek	koniec			
CEM I 32,5R	2 960	3 ²⁵	4 ⁵⁵	26,8	0	18,9
CEM I 42,5R	3 980	2 ³⁵	3 ²⁵	27,2	0	19,8
CEM I 52,5R	5 280	1 ⁰⁰	1 ⁴⁵	27,5	0	20,0
CEM II/A-S 42,5R	4 140	1 ²⁵	2 ⁴⁵	26,4	0	20,2
CEM II/B-S 42,5R	4 570	2 ⁰⁵	3 ⁰⁵	26,0	0	20,1
CEM II/A-V 42,5R	4 120	1 ⁵⁵	3 ⁰⁵	28,0	0	20,5
CEM II/B-V 42,5R	4 930	2 ²⁵	3 ¹⁵	28,8	0	21,0

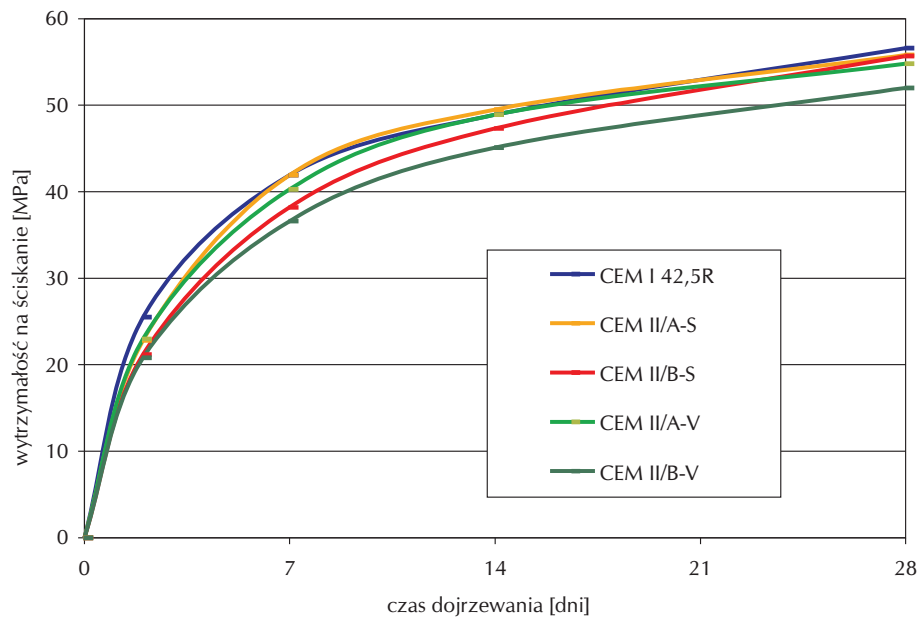
T a b e l a 3

Właściwości mechaniczne badanych cementów

Rodzaj cementu	Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]				Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			
		po dniach				po dniach			
		2	7	14	28	2	7	14	28
CEM I 32,5R	2 960	3,7	6,2	6,6	7,6	17,3	33,3	41,7	48,8
CEM I 42,5R	3 980	5,0	6,7	6,9	7,4	25,5	41,9	48,9	56,6
CEM I 52,5R	5 280	5,2	6,5	7,2	7,3	30,5	50,2	58,3	63,9
CEM II/A-S 42,5R	4 140	4,4	6,3	7,1	7,3	22,8	41,9	49,5	55,8
CEM II/B-S 42,5R	4 570	4,4	6,2	7,1	7,5	21,2	38,2	47,3	55,7
CEM II/A-V 42,5R	4 120	4,8	6,4	7,0	7,2	23,0	40,3	48,9	54,8
CEM II/B-V 42,5R	5 130	4,5	6,2	6,4	6,6	20,8	36,6	45,1	52,0



Ryc. 1. Wytrzymałość zapraw wykonanych z cementów CEM I



Ryc. 2. Wytrzymałość zapraw wykonanych z cementów klasy 42,5R

Dane zawarte w tab. 3 oraz pokazane na ryc. 1 potwierdzają przygotowanie laboratoryjne cementów portlandzkich jako spoiw o różnej wytrzymałości. Wyniki badań pozwalają na zaklasyfikowanie tych cementów do trzech klas wytrzymałości: 32,5R; 42,5R i 52,5R.

Wyniki badań wytrzymałości zapraw z cementów CEM II zawierających dodatki popiołu lub żużla wykazały, że przygotowane cementy z dodatkami posiadają podobne do cementu portlandzkiego CEM I 42,5R charakterystyki narastania wytrzymałości. Takie właściwości cementów uzyskano doświadczalnie poprzez odpowiednie dobranie stopnia rozdrobnienia poszczególnych cementów wyrażone jako powierzchnia właściwa (tab. 2).

Uzyskane właściwości cementów pozwoliły w pełni na zrealizowanie celu badań, jakim była ocena: wpływu stopnia rozdrobnienia cementu portlandzkiego CEM I oraz wpływu ilości i rodzaju dodatku w cemencie na właściwości zapraw klejowych do płytek.

3. Badania wpływu cementu na właściwości zapraw klejowych do płytek

Do badań przygotowano zaprawy klejowe o składzie podanym w tab. 4. W recepturach zapraw klejowych znalazły się sprawdzone wcześniej wysokiej jakości dodatki chemiczne. Przygotowano siedem mieszanek, w których składzie zmieniano jedynie rodzaj cementu. Mieszanki sporządzono w laboratorium poprzez wymieszanie poszczególnych składników w workach z tworzywa sztucznego. Stosowano stały czas mieszania wynoszący 10 minut, zapewniający dobrą homogenizację materiału badawczego.

T a b e l a 4

Skład zapraw klejowych do badań

Składnik zaprawy klejowej	Udział składnika [% masy]
Cement – według tab. 1	33,0
Piasek frakcji 0,1–0,5 mm	64,1
Proszek dyspersyjny	2,5
Metyloceluloza	0,4

Zbadano właściwości normowe przygotowanych siedmiu zapraw klejowych metodami [10–13] podanymi w normie PN EN 12004. Wszystkie zaprawy mieszano ze stałą ilością wody, wynoszącą 28% w stosunku do suchej masy, dobraną doświadczalnie na podstawie oceny konsystencji zapraw. Przed ostatecznym wymieszaniem spoiwa stosowano czas dojrzewania wynoszący 10 minut.

Wyniki badań normowych zapraw klejowych w porównaniu z wymaganiami normy przedmiotowej PN-EN 12004:2007 [1, 2] przedstawiono w tab. 5; dotyczą one wartości średnich i podano je z dokładnością do (rozbieżności można przyjąć jako niepewność wyniku badania – błąd metody):

- 0,05 N/mm² – w przypadku oznaczeń czasu otwartego i przyczepności;
- 0,05 mm – w przypadku oznaczeń spływu;
- 0,05 mm – w przypadku oznaczeń odkształcenia poprzecznego.

T a b l i c a 5

Wyniki badań normowych zapraw klejowych w porównaniu z wymaganiami normy PN-EN 12004:2007

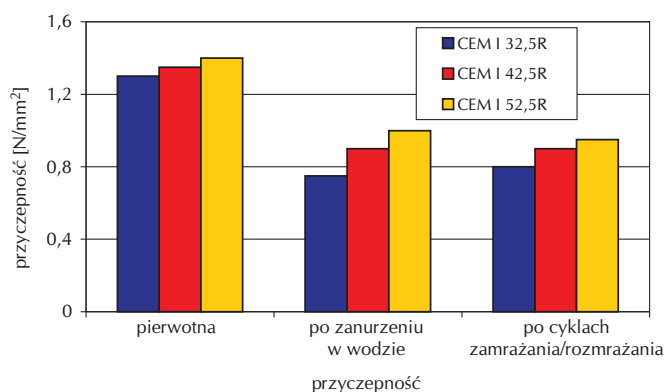
Lp.	Zaprawa klejowa z cementu:	Czas otwarty [N/mm ²]		Przyczepność [N/mm ²]				Spływ [mm]	Odkształcenie poprzeczne [mm]
		po 20 min	po 30 min	pierwotna	po zanurzeniu w wodzie	po starzeniu termicznym	po cyklach zamr./rozmr.		
1	CEM I 32,5R	0,75	0,60	1,30	0,75	0,80	0,50	0,70	2,05
2	CEM I 42,5R	0,85	0,65	1,35	0,90	0,90	0,85	0,80	2,10
3	CEM I 52,5R	0,95	0,70	1,40	1,00	0,95	1,00	0,75	2,10
4	CEM II/A-S	0,95	0,70	1,40	0,85	0,95	0,75	0,50	2,10
5	CEM II/A-V	0,90	0,70	1,30	0,80	1,00	0,65	0,55	2,10
6	CEM II/B-S	1,05	0,80	1,30	0,80	1,10	0,50	0,35	2,10
7	CEM II/B-V	0,85	0,55	1,25	0,70	1,05	0,40	0,45	2,10
Wymagania normowe (podstawowe)		≥ 0,5	-	≥ 0,5 – dla klejów oznaczonych jako C1				-	-
Wymagania normowe (opcjonalne)		-	≥ 0,5 (dotyczy klejów o wydłużonym czasie otwartym, oznaczonych E)	≥ 1,0 (dla klejów o podwyższonych parametrach, C2)				≤ 0,5 (dotyczy klejów o obniżonym spływie, oznaczonych T)	≥ 2,5 i < 5,0 – klasa elastyczności S1 ≥ 5,0 – klasa elastyczności S2

3.1. Wpływ rozdrobnienia cementu na właściwości zapraw klejowych

W różnych warunkach kondycjonowania próbek badawczych rozdrobnienie cementu wpływa na oznaczanie zapraw klejowych w przypadku:

- czasu otwartego – równocześnie ze wzrostem rozdrobnienia cementu i jego wytrzymałości uzyskano nieznaczną poprawę wyników badań;
- przyczepności – wzrost rozdrobnienia cementu poprawia właściwości kleju. Dotyczy to szczególnie oznaczeń przyczepności po zanurzeniu w wodzie i po cyklach zamrażania/rozmarzania (ryc. 3).

Rozdrobnienie cementu nie zmienia wartości spływu i odkształcenia poprzecznego zapraw klejących.



Ryc. 3. Przyczepność zapraw klejowych z cementów CEM I oznaczona po różnych warunkach kondycjonowania próbek

3.2. Wpływ rodzaju cementu na właściwości zapraw klejowych

3.2.1. Cementy popiołowe

Zaprawy klejowe wykonane z cementów popiołowych wykazują wartości czasu otwartego podobne do zapraw z cementu portlandzkiego.

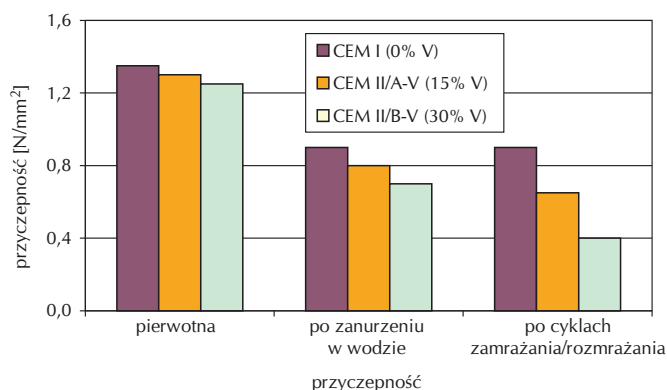
Wpływ popiołu w cemencie na wyniki badań przyczepności jest różny dla różnych warunków kondycjonowania próbek badawczych:

- wraz ze wzrostem zawartości popiołu w cemencie obserwuje się nieduże spadki przyczepności pierwotnej po zanurzeniu w wodzie oraz znaczące spadki po cyklach zamrażania/rozmarzania (ryc. 4);
- dodatek popiołu w cemencie poprawia natomiast przyczepność klejów po starzeniu termicznym.

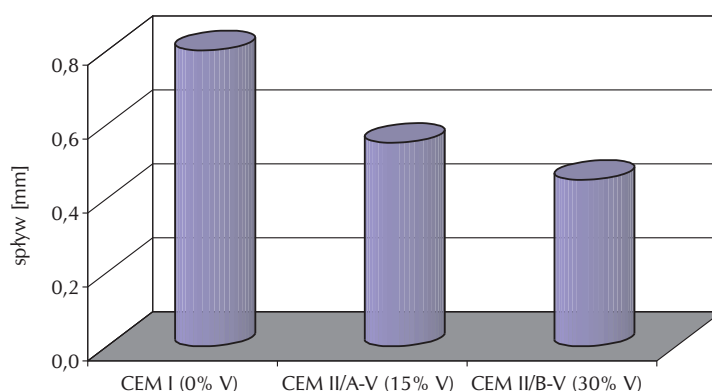
Otrzymane wyniki dobrze korelują z danymi literaturowymi [14–18], podkreślającymi bardzo dobrą aktywację właściwości pucolanowych popiołów w podwyższonej temperaturze oraz bardzo słabe wytrzymałości zapraw z cementów popiołowych dojrzewających w niskiej temperaturze.

Zaprawy klejowe wykonane z cementów popiołowych wykazują obniżony spływ w stosunku do zapraw z cementu portlandzkiego CEM I (ryc. 5). Otrzymane wyniki można tłumaczyć zwiększoną wodożądnością cementów popiołowych (tab. 2). Przy stałym stosunku wody do suchej mieszanki zaprawy klejowe z cementów popiołowych są nieco gęstsze.

Odkształcenie poprzeczne zapraw klejowych z cementów popiołowych jest takie same, jak w przypadku zapraw z cementu portlandzkiego.



Ryc. 4. Przyczepność zapraw klejowych z cementów popiołowych oznaczona po różnych warunkach kondycjonowania próbek



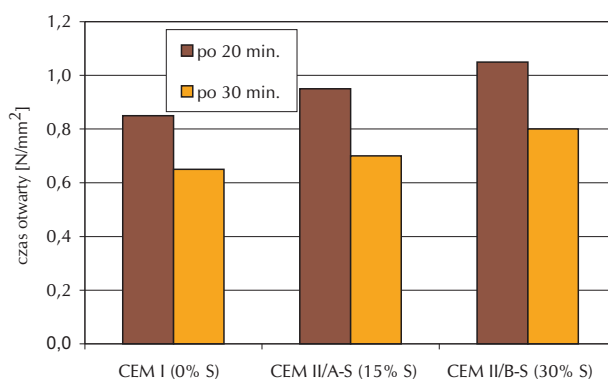
Ryc. 5. Wpływ dodatku popiołu w cemencie na wartości spływu zapraw klejowych do płytek

3.2.2. Cementy żuźlowe

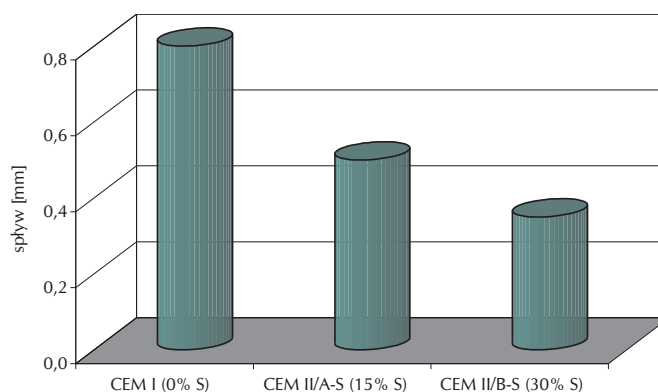
Dodatek granulowanego żuźla wielkopiecowego w cemencie wyraźnie poprawia wyniki oznaczeń czasu otwartego zapraw klejowych, zarówno po 20, jak i po 30 min (ryc. 6).

Oddziaływanie dodatku żuźla w cemencie na wyniki badań przyczepności zapraw klejowych dla różnych warunków kondycjonowania próbek badawczych jest podobne jak w przypadku dodatku popiołu:

- jednocześnie ze wzrostem zawartości żuźla w cemencie obserwuje się niewielki spadek przyczepności po zanurzeniu w wodzie i nieco większy po cyklach zamrażania/rozmarzania – spadki te są wyraźnie mniejsze niż w przypadku dodatku popiołu;
- dodatek żuźla w cemencie poprawia nieznacznie przyczepność klejów po starzeniu termicznym.



Ryc. 6. Wpływ dodatku żuźla w cemencie na czas otwarty zapraw klejowych do płytek



Ryc. 7. Wpływ dodatku żuźla w cemencie na wartości spływu zapraw klejowych do płytek

Podobnie jak w przypadku popiołu, dodatek żużla obniża spływ zapraw klejowych. Efektywność działania żużla na obniżenie spływu jest nieco większa niż dodatku popiołu (ryc. 7).

Odkształcenie poprzeczne zapraw klejowych z cementów żużlowych jest takie same, jak w przypadku zapraw z cementu portlandzkiego.

4. Wnioski

1. Stopień rozdrobnienia (wytrzymałość) cementów portlandzkich CEM I wpływa na właściwości zapraw klejowych do płytek. Równocześnie ze wzrostem rozdrobnienia cementu uzyskano wyższe wyniki czasu otwartego oraz przyczepności zapraw klejowych oznaczonych w różnych warunkach kondycjonowania próbek.
2. Wyniki badań zapraw klejowych z cementów popiołowych różnią się od wyników uzyskanych w przypadku zapraw z cementu portlandzkiego. Wpływ dodatku popiołu jest różny dla różnych oznaczeń. Badania wskazują z jednej strony na nieco lepsze wyniki w zakresie przyczepności po starzeniu termicznym i spływu, a z drugiej strony dodatek popiołu obniża wartości przyczepności w pozostałych warunkach kondycjonowania próbek.
3. Wpływ dodatku żużla w cementach żużlowych na właściwości zapraw klejowych jest podobny jak wpływ popiołu. Dodatek żużla poprawia ponadto czas otwarty.
4. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania cementów żużlowych i popiołowych do wytwarzania zapraw klejowych do płytek. Dobór odpowiedniego cementu pozwala na uzyskanie zbliżonych, a w niektórych przypadkach nawet lepszych wyników niż dla zapraw klejowych, w których spoiwem jest cement portlandzki CEM I bez dodatków.
5. Uzyskane wyniki dotyczą cementów wykonanych w laboratorium z jednostkowych próbek popiołu krzemionkowego i żużla wielkopieczowego, dlatego wymagają potwierdzenia w badaniach dodatków pochodzących z innych źródeł niż badane. Dotyczy to szczególnie popiołu lotnego, którego jakość w znacznej mierze jest determinowana przez straty prażenia (zawartość niespalonego węgla) oraz stopień rozdrobnienia.

Literatura

- [1] PN-EN 12004:2002 + Zmiana A1:2003 „Zaprawy klejowe do płytek ceramicznych. Definicje i wymagania techniczne”.
- [2] PN-EN 12004:2007 „Zaprawy klejowe do płytek ceramicznych. Definicje i wymagania techniczne” (nowe wydanie normy EN 12004).

- [3] Michałak J., *Normalizacja dotycząca klejów i zapraw do spoinowania*, „Wokół Płytek Ceramicznych” 2004, nr 1.
- [4] Michałak J., *Oznaczenia klejów i zapraw do spoinowania płytek ceramicznych*, „Wokół Płytek Ceramicznych” 2005, nr 1.
- [5] Michałak J., *Planowane zmiany w normalizacji klejów do płytek ceramicznych*, „Wokół Płytek Ceramicznych” 2004, nr 4.
- [6] PN-EN 196-1:2006: „Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości”.
- [7] PN-EN 196-2:2006: „Metody badania cementu. Część 2: Analiza chemiczna cementu”.
- [8] PN-EN 196-3:2006: „Metody badania cementu. Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości”.
- [9] PN-EN 196-6:1997: „Metody badania cementu. Część 6: Oznaczanie stopnia zmielenia”.
- [10] PN-EN 1346:1999: „Kleje do płytek. Oznaczanie czasu otwartego”.
- [11] PN-EN 1348:1999 + Zmiana 1999/Ap1:2005 „Kleje do płytek. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie”.
- [12] PN-EN 1308:1999: „Kleje do płytek. Oznaczanie poślizgu”.
- [13] PN-EN 12002:2005 + Poprawka Ap1:2005: „Kleje do płytek. Oznaczanie odkształcenia poprzecznego klejów cementowych i zapraw do spoinowania”.
- [14] Kurdowski W., *Chemia cementu*, PWN, Warszawa 1991.
- [15] Neville A. M., *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000.
- [16] Taylor H. F. W., *Cement chemistry. 2nd Edition*, Thomas Telford Publishing 1997.
- [17] Lea F. M., *The Chemistry of Cement and Concrete. Arnold Publishing*, London 1970.
- [18] Chłodziński S., Zdaniewicz M., *Twardnienie cementów z dodatkami mineralnymi w podwyższonej i obniżonej temperaturze*, [w:] *III Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych”*, Szczyrk 2004, s. 152–166.

SŁAWOMIR CHŁĄDZYŃSKI

INFLUENCE OF CEMENT ON PROPERTIES OF ADHESIVES FOR TILES

In the paper influence of cement fineness and mineral additions on properties of adhesives for tiles have been investigated. Experiment have been done using mortars prepared from Portland composite cements CEM II; slag cements and fly ash cements with different slag/fly ash addition. Standard properties of adhesives for tiles have been tested. Results of testing showed that slag and fly ash cements can be applied to produce adhesives for tiles. Selection of proper cement type indicates on similar or in any cases even better results than those obtained for mortars based on Portland cement CEM I binder.