

Ocena wpływu domieszek i dodatków na właściwości matrycy cementowej

Promotor – dr inż. Teresa Rucińska, mgr inż. Marzena Gul,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

1. Wprowadzenie

Nawiązując do artykułu zamieszczonego w marcowym numerze „Przeglądu Budowlanego”, odnośnie konkursu na najlepszą pracę dyplomową obronioną w roku akademickim 2016/2017, na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, autorki przybliżą tematykę jednej z wyróżnionych prac, ocenianej w kategorii badawczych magisterskich.

Zgodnie z tytułem niniejszego artykułu zadaniem dyplomantki było wykazanie wpływu domieszek i dodatków na matrycę cementową, uzyskaną z cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R. Badaniom poddano zaczyny cementowe z udziałem: domieszki upłynniającej WOERMENT FM 21, domieszki napowietrzającej MISCHÖL LP 77, pyłu krzemowo-wapiennego oraz popiołu lotnego.

Przedmiotem pracy były zaczyny cementowe wykonane z cementu CEM I 42,5 R (firmy Górażdże) z udziałem dodatków i domieszek w różnych ilościach, przy czym założono, iż wszystkie zaczyny mają spełnić warunek normowej konsystencji. Jako zaczyn referencyjny przyjęto mieszaninę cementu z wodą, której ilość ustalono „metodą prób”. Za zaczyn referencyjny przyjęto mieszaninę wskazanego cementu i ustalonej w wyniku badania ilości wody, co było podstawą do dalszego formowania próbek. Łącznie przebadano 9 zaczynów:

- zaczyn będący mieszaniną cementu CEM I 42,5 R i wody (referencyjny);
- 2 zaczyny z cementu CEM I 42,5 R, wody oraz z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego¹ w ilości odpowiednio 10% i 20% w stosunku do masy cementu;
- 2 zaczyny z cementu CEM I 42,5 R, wody oraz z dodatkiem popiołu lotnego w ilości odpowiednio 10% i 15% w stosunku do masy cementu;
- 2 zaczyny z cementu CEM I 42,5 R, wody oraz

z domieszką superplastyfikatora. WOERMENT FM 21 w ilości odpowiednio 0,5% i 1% w stosunku do masy cementu, zalecane dozowanie przez producenta wynosi od 0,1% do 2,3% w stosunku do masy cementu;

- 2 zaczyny z cementu CEM I 42,5 R, wody oraz z domieszką napowietrzającą MISCHÖL LP 77 z udziałem 0,5% i 1% w stosunku do masy cementu, zalecane dozowanie przez producenta wynosi 0,05–1,6% w stosunku do masy cementu.

Na podstawie badania normowej konsystencji, które wykonywano metodą prób, ustalono skład i proporcje poszczególnych składników zaczynów i tylko takie poddano dalszym badaniom, które obejmowały:

- oznaczenie konsystencji i czasu wiązania wg PN-EN 196-3,
- oznaczenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie, wg PN-EN 196-1, po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania próbek sezonowanych w temperaturze 20°C i wilgotności względnej otoczenia $RH \geq 95\%$,
- oznaczenie gęstości objętościowej,
- oznaczenie skurczu przy wysychaniu metodą Graf-Kaufmana wg normy PN-84/B-06714/24, próbek sezonowanych w komorze klimatycznej w temperaturze 20°C i wilgotności względnej otoczenia $RH = (50 \pm 5)\%$,
- ocena makrostruktury.

2. Zaczyn cementowy

Właściwości zaczynu cementowego mają bezpośrednie przełożenie na cechy techniczne zapraw i betonów, stąd istotne jest poznanie wpływu domieszek i dodatków na tworzącą się strukturę matrycy cementowej, bez których współcześnie wytwarzane zaprawy i betony nie są w stanie sprostać nowym wymaganiom technologicznym czy też użytkowym. W mieszkankach tych ilość zaczynu cementowego ma wpływ na jej konsystencję. Im więcej zaczynu tym grubsze otulenie ziaren kruszywa, a co za tym idzie łatwiejsze przemieszczanie się względem siebie w czasie mieszania i zagęszczania. To zaczyn w postaci zawiesiny wiąże mieszkankę, co ostatecznie skutkuje jej stwardnieniem, a jego właściwości mają wpływ na strefę kontaktową z kruszywem, uważaną za najsłabszy element mikrostruktury [1]. Ważne jest więc, aby poznać zmiany, jakie następują w matrycy cementowej w modyfikowanej matrycy cementowej.

¹ Pył krzemowo-wapienny – CaSi to według firmy Mikrosilika dyspersyjny pył o szarej barwie. Składa się z amorficznych cząstek krzemionkowo-wapniowych, mniejszych od 10–6 m, dlatego jest wysoko *pucolanowy. Rozmiar cząstek waha się w zakresie mikrotubuli. Średnica ziaren mierzy od 0,05 do 0,2 μm . 90% cząstek ma wartość poniżej 0,2 μm . W ramach pracy dodatek testowano pod względem wpływu na właściwości zaczynu cementowego, sprawdzając w ten sposób jego przydatność do produktów cementowych.

Tabela 1 Konsystencja zaczynów na CEM I 42,5R oznaczona aparatem Vicata

Cement	Dodatek/domieszka	Ilość dodatku/domieszki [% masy cementu]	Ilość cementu [g]	Ilość wody [cm ³]	Wodożądność
CEM I 42,5 R	brak (zaczyn referencyjny)	-	500	140	0,28
	pył krzemowo-wapienny (CaSi) (KW)	10,0	450	175	$w/(C+KW) = 0,35$
	pył krzemowo-wapienny (CaSi) (KW)	15,0	425	218	$w/(C+KW) = 0,44$
	popiół lotny (P)	10,0	450	131	$w/(C+P) = 0,26$
	popiół lotny (P)	15,0	425	133	$w/(C+P) = 0,27$
	superplastyfikator	0,5	500	126	0,25
	superplastyfikator	1,0	500	125	0,25
	domieszka napowietrzająca	0,5	500	128	0,26
	domieszka napowietrzająca	1,0	500	125	0,25

3. Wyniki badań

Normowa konsystencja zaczynu

Na podstawie przedstawionych w tabeli 1 wyników pomiaru konsystencji stwierdza się, co następuje.

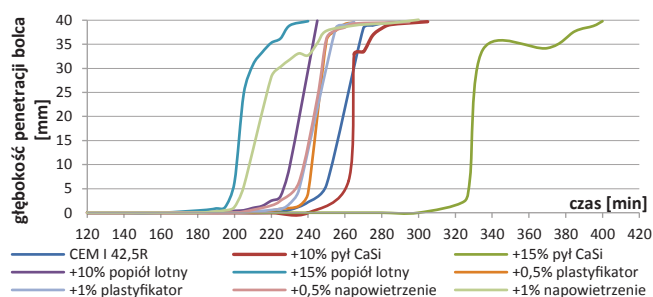
- Zaczyn referencyjny – uzyskano współczynnik wodno-cementowy równy 0,28. Według A.M. Neville [5] udział procentowy wody zawartej w zaczynie normowym, wyrażony w stosunku do masy suchego cementu, powinien oscylować w granicach 26–33%, natomiast według J. Mafolepszego [6] wodożądność cementów portlandzkich powinna wynosić około 24–28%. Wynik badania zaczynu referencyjnego potwierdza tę teorię w obu przypadkach. Należy tu wspomnieć, że współczynnik wodno-cementowy jest zależny od stopnia zmielenia cementu, co przekłada się na jego powierzchnię właściwą [5, 6].
- Zaczyn cementowy z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) – w celu uzyskania efektu jak normowej konsystencji zaczynu referencyjnego konieczne było zwiększenie ilości wody, a mianowicie przy dodaniu 10% pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) w odniesieniu do masy cementu o ok. 25% – $W/(C+KW) = 0,35$,

natomiast przy 15% o ok. 55% – $W/(C+KW) = 0,44$. Mając na względzie charakterystykę dodatku podaną przez producenta, iż składa się on z amorficznych cząstek krzemionkowo-wapniowych mniejszych od 10^{-6} m, przy czym aż 90% cząstek ma wartość poniżej $0,2 \mu\text{m}$, to w porównaniu do cząstek cementu, które w większości zawierają się w przedziale 5–30 μm , zwiększona ilość wody wydaje się uzasadniona.

- Zaczyn cementowy z dodatkiem popiołu lotnego – w tym przypadku mieszanina cementu i popiołu lotnego wymagała mniejszej ilości wody niż zaczyn referencyjny, co potwierdza wpływ tego dodatku na poprawę urabialności [1].
- Zaczyn cementowy z domieszką superplastyfikatora – zaczyny z superplastyfikatorem w ilości 0,5% i 1,0% masy cementu osiągnęły ten sam współczynnik W/C , przy tym redukując ilość wody w zaczynie do uzyskania efektu normowej konsystencji o 11% w odniesieniu do zaczynu referencyjnego, co potwierdza ogólnie przyjętą teorię w tym zakresie.
- Zaczyn cementowy z domieszką napowietrzającą – dozowanie domieszki napowietrzającej doprowadziło do obniżenia ilości wody o ok. 9–11% i uzyskania

Tabela 2. Czas wiązania zaczynów na CEM I 42,5R

Cement	Dodatek/domieszka	Początek wiązania	Koniec wiązania	Opóźnienie [-]/przyspieszenie [+] początku wiązania w odniesieniu do próbki referencyjnej
CEM I 42,5 R	brak (zaczyn referencyjny)	250 min	290 min	-
	pył krzemowo-wapienny (CaSi) 10%	262 min	305 min	[-] 12 min
	pył krzemowo-wapienny (CaSi) 15%	328 min	400 min	[-] 78 min
	popiół lotny 10%	225 min	245 min	[+] 25 min
	popiół lotny 15%	200 min	240 min	[+] 50 min
	superplastyfikator 0,5%	240 min	265 min	[+] 10 min
	superplastyfikator 1,0%	235 min	265 min	[+] 15 min
	domieszka napowietrzająca 0,5%	235 min	295 min	[+] 15 min
	domieszka napowietrzająca 1,0%	205 min	300 min	[+] 45 min



Rys. 1. Przebieg procesu wiązania zaczynów cementowych w czasie

niższego współczynnika wodno-cementowego, przy czym wzrost ilości dozowanej domieszki powodował redukcję ilości wody. Potwierdza to fakt, iż powstające pęcherzyki powietrza zachowują się jak mikrowypełniacze, mając przy tym kulisty kształt, prowadzą do zmniejszenia tarcia wewnętrznego między składnikami, czego efektem jest między innymi uplastycznienie mieszanki, a w konsekwencji zmniejszenie ilości wody zarobowej [3, 4].

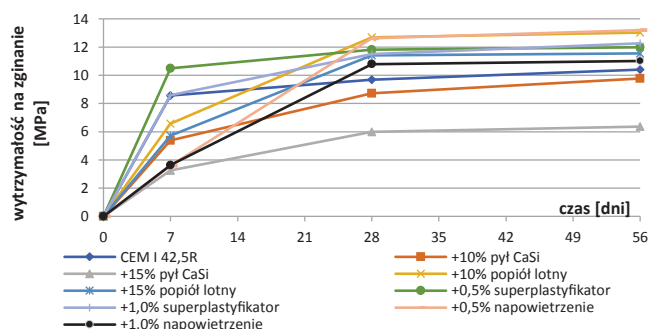
Analiza przeprowadzonego oznaczenia pozwala stwierdzić, iż ilość wody zarobowej w poszczególnych zaczynach cementowych jest odmienna, nie utrzymuje się na jednym, stałym poziomie, gdyż zależy to od wielu czynników – między innymi od dozowania domieszek bądź dodatków do zaczynu.

Czas wiązania początku i końca

Po uzyskaniu konsystencji normowej zaczynów przeprowadzono oznaczenie czasu wiązania, co przedstawia tabela 2 i rysunek 1.

Analizując wyniki podane w tabeli 2 i na rysunku 1, stwierdzono:

- opóźnienie czasu początku wiązania zaczynów z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) w odniesieniu do zaczynu referencyjnego. Zwiększenie ilości dodatku z 10% do 15% masy cementu spowodowało wzrost opóźnienia o 66 min. Przyczynę takiego stanu upatruje się w znacznie większej ilości dodanej wody do mieszaniny cement+pył CaSi, która nie związana opóźniła zarówno początek jak i koniec wiązania. Według producenta pył ten jest wysoko pucolanowy, jednak w obecności $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w roztworze czy też $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z hydrolizy faz krzemianowych klinkieru cementowego raczej w ograniczonym zakresie tworzy produkty o właściwościach wiążących i hydraulicznych [3];
- w przypadku zaczynu z popiołem lotnym nastąpiło przyspieszenie procesu wiązania o 25 min – im więcej dodatku, tym szybszy czas początku wiązania. Stwierdzenie to jest prawdziwe wówczas, gdy popiół jest dodawany w ilości nie większej niż 40% masy cementu – wtedy uaktywnia się chemicznie poprzez reagowanie z nadmiarem wapna w zaczynie cementowym [1];



Rys. 2. Charakterystyka narastania wytrzymałości na zginanie stwardniałych zaczynów w czasie dojrzewania do 56 dni

- dodanie superplastyfikatora do zaczynu wpłynęło na przyspieszenie czasu początku wiązania w granicach 10–15 min; co ciekawe – czas końca wiązania w obu przypadkach (z dodatkiem 0,5% i 1,0% domieszki upłynniającej) jest taki sam i wynosi 265 min;
- zaczyn z domieszką napowietrzającą w ilości 0,5% uzyskał porównywalny do referencyjnego czasu wiązania – różnica wynosi 15 min., natomiast zwiększenie domieszki o 0,5% masy cementu spowodowało skrócenie procesu o 30 min;

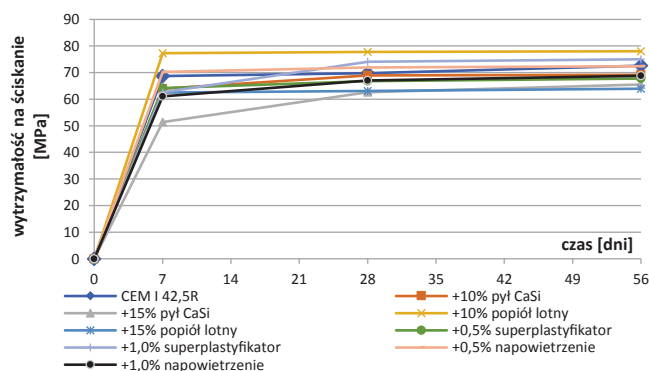
Wytrzymałość na zginanie i ściskanie

Oznaczenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie wykonano na stwardniałych zaczynach sezonowanych do czasu badania w temperaturze 20°C i wilgotności względnej otoczenia $RH \geq 95\%$. Przyjęto czas badania po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania zaczynów. Rezultat tych badań przedstawiono na rysunku 2 i 3.

Analizując uzyskane wyniki wytrzymałości na zginanie po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania stwardniałych zaczynów cementowych (rys. 2), daje się zauważyć zróżnicowaną dynamikę jej narastania w początkowej fazie dojrzewania, jednak po przekroczeniu 28 dni przyrost wytrzymałości przyjmuje podobny charakter. Zaczyny z udziałem pyłu CaSi wykazują niższą wytrzymałość od pozostałych, szczególnie jest to zauważalne w stwardniałym zaczynie z udziałem 15% tego dodatku.

W przypadku wytrzymałości na ściskanie charakter wzrostu wytrzymałości jest podobny we wszystkich stwardniałych zaczynach – rysunek 3. W początkowym okresie dojrzewania zaobserwowano wyraźny wzrost wytrzymałości, po czym nastąpiło wyhamowanie zarówno widoczne po 28 dniach dojrzewania jak i po 56. Przyjmując wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania za 100%, wytrzymałość po 7 dniach ukształtowała się na poziomie od 84% do 98%.

Wszystkie wartości wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach twardnienia, jakie zarejestrowano w czasie pomiarów, przewyższają 60 MPa, przy czym najwyższą zanotowano w przypadku stwardniałego zaczynu z dodatkiem 10% popiołu lotnego. Jednak przy 15% udziale tego dodatku wyraźnie się obniżyła. Według Z. Jamrożego [1]



Rys. 3. Charakterystyka narastania wytrzymałości na ściskanie stwardniałych zaczynów w czasie dojrzewania do 56 dni

popiół lotny może powodować spadek wytrzymałości, co właśnie ma miejsce. Podobną reakcję zaobserwowano w przypadku pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi).

Gęstość objętościowa

Gęstość objętościową stwardniałych zaczynów, oznaczoną po 24 h od zaformowania próbek do badań wytrzymałościowych oraz po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania, przedstawiono na rysunku 4.

Analizując wykresy przedstawione na rysunku 4, stwierdzono, że warunki, w jakich próbki przechowywano, czyli w temperaturze 20°C i wilgotności $RH \geq 95\%$, mają (nieznaczny, ale jednak) wpływ na gęstość objętościową stwardniałych zaczynów. Praktycznie w każdym przypadku zaobserwowano, iż im dłużej próbki przechowywano w wannie nad wodą, tym bardziej wzrastała ich masa. Jest to efekt pielęgnacji w czasie dojrzewania w otoczeniu wysokiej wilgotności, a także potwierdzenie ich właściwości higroskopijnych. Daje się także zauważyć, że gęstość objętościowa stwardniałego zaczynu z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) jest ustabilizowana w czasie dojrzewania do 56 dni, co skutkuje znikomą reakcją na zmianę wilgotności. Natomiast w przypadku pozostałych zaczynów osiągnięto mniej więcej zbliżone do siebie wartości gęstości objętościowej wynoszące w granicach 2,0–2,20 g/cm³, przy czym stwardniałe zaczyny z udziałem domieszki napowietrzającej osiągnęły najniższe wartości. To, ile próbki wykonane z poszczególnych zaczynów były w stanie przyjąć wodę w wyniku sorpcyjnego pochłaniania przy $RH \geq 95\%$, uzależnione jest od stopnia porowatości struktury. Potwierdziło się więc, że zaczyny z domieszką napowietrzającą charakteryzuje najwyższa porowatość.

Skurcz przy wysychaniu

Skurcz przy wysychaniu oznaczono na próbkach sezonowanych w temperaturze 20°C i wilgotności względnej otoczenia $RH = 50 \pm 5\%$, wykorzystując oznaczenie zmian objętościowych metodą Graf-Kaufmana. Wartości

skurczu przedstawiono graficznie na rysunku 5. Analiza charakterystyki przebiegu tego zjawiska pozwala na stwierdzenia:

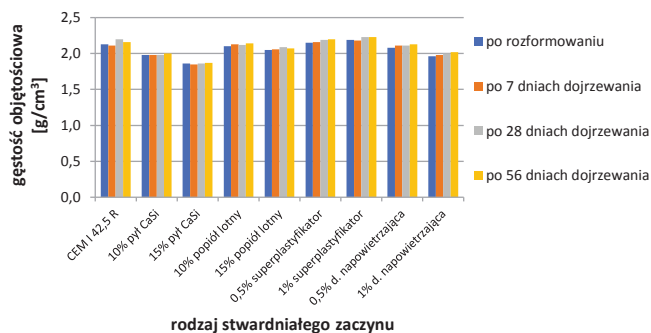
- wzrost pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) z 10% do 15% zwiększył skurcz o zaledwie 9%, przy czym są to największe zmiany objętościowe zarejestrowane w czasie pomiarów do 56 dni dojrzewania;
- zwiększenie ilości popiołu lotnego z 10% do 15% wpłynęło na spadek pomiaru zmian objętościowych o ok. 10%;
- zwiększenie dozowania superplastyfikatora z 0,5% na 1,0% zwiększyło skurcz o ok. 16%;
- dodanie 1,0% domieszki napowietrzającej doprowadziło do zmniejszenia skurczu o 7%.

Kontrolowanie postępującego zjawiska skurczu od wysychania przeprowadzono w okresie do 56 lub 64 dni dojrzewania, w zależności od daty zaformowania próbek z poszczególnych zaczynów. W tym czasie zaobserwowano, iż warunki powietrzno-wilgotnościowe mają znaczny wpływ na skurcz wywołany utratą wody poprzez otwartą powierzchnię kompozytów cementowych [2]. W warunkach otoczenia: temperatura 20°C i wilgotność $RH = 50 \pm 5\%$ nastąpił znaczny postęp skurczu, zwłaszcza w początkowych dniach dojrzewania. Wynika to z faktu, iż przyjęte warunki sezonowania, które są uznawane za niekorzystne, powodują szybki proces odparowywania wody z powierzchni próbek, co w efekcie wywołuje większy skurcz w odniesieniu do sytuacji, gdyby próbki były pielęgnowane w podwyższonej wilgotności otoczenia. Niemalże w każdym przypadku po upływie ok. 40 dni dojrzewania skurcz przy wysychaniu się ustabilizował, utrzymując się na podobnym poziomie.

Jeśli chodzi o ilość dozowanych dodatków i domieszek, to w przypadku popiołu lotnego i domieszki napowietrzającej uzyskano potwierdzenie [1], iż obniżają skurcz – zwiększona ilość popiołu czy też domieszki napowietrzającej w zaczynie spowodowała niższy skurcz przy wysychaniu. Jednakże w pozostałych zaczynach zauważono wzrost skurczu wraz ze wzrostem dozowanej ilości dodatku czy domieszki.

Na rysunku 5 wyraźnie widać, że stwardniały zaczyn wykonany z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) jest najbardziej podatny na zjawisko skurczu w porównaniu z pozostałymi, co w konsekwencji może powodować spękania bądź zarysowania matrycy cementowej w kompozytach z jego użyciem. Najniższy skurcz zaobserwowano w przypadku stwardniałego zaczynu z dodatkiem popiołu lotnego – jest on nawet niższy od skurczu występującego w stwardniałym zaczynie referencyjnym.

Przeprowadzone oznaczenie skurczu potwierdza, jak ważny jest proces pielęgnacji produktów cementowych w początkowym okresie dojrzewania. Zmienne warunki temperaturowo-wilgotnościowe otoczenia, jakie panują w czasie procesów budowlanych, wymuszają szczególną dbałość o zachowanie właściwych parametrów technicznych elementów wykonanych z ich udziałem.

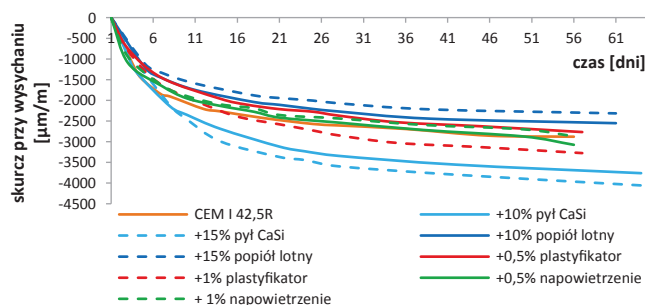


Rys. 4. Gęstość objętościowa po 24 h od zaformowania próbek do badań wytrzymałościowych oraz po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania

4. Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- w zależności od rodzaju i ilości domieszek/dodatków w danym zaczynie cementowym ma miejsce zmienność współczynnika wodno-cementowego. Odnotowano wyższy współczynnik W/C zaczynów z pyłem krzemowo-wapiennym (CaSi) oraz niższy pozostałych zaczynów (z domieszkami i popiołem lotnym) w odniesieniu do zaczynu referencyjnego;
- wzrost zapotrzebowania na wodę zarobową przy zastosowaniu pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) oraz redukcja wody i polepszenie urabialności w przypadku dozowania domieszek oraz popiołu lotnego;
- opóźnienie czasu początku wiązania zaczynów z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) w odniesieniu do zaczynu kontrolnego, przy czym zwiększenie ilości dodatku spowodowało wzrost opóźnienia;
- przyspieszenie procesu czasu wiązania w przypadku dodania popiołu lotnego oraz domieszki upłynniającej i napowietrzającej;
- wydłużenie czasu końca wiązania zaczynów z 15% udziałem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) oraz zaczynów z domieszką napowietrzającą;
- zróżnicowane narastanie wytrzymałości na zginanie w początkowym okresie dojrzewania, oprócz zaczynów z dodatkiem domieszki napowietrzającej. Tutaj zaobserwowano bardziej dynamiczne tempo wzrostu wytrzymałości w czasie.
- najwyższa wytrzymałość na zginanie po 56 dniach twardnienia charakteryzuje zaczyny z dodatkiem 10% popiołu lotnego oraz 0,5% domieszki napowietrzającej, natomiast najniższa – kompozyty z pyłem krzemowo-wapiennym (CaSi);
- wyraźna dynamika narastania wytrzymałości na ściskanie w początkowym okresie dojrzewania, odmiennie niż w przypadku wytrzymałości na zginanie. Wszystkie stwardniałe zaczyny uzyskały wytrzymałość po 7 dniach dojrzewania w granicach od 84% do 98% w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach;



Rys. 5. Skurcz przy wysychaniu wszystkich próbek stwardniałego zaczynu na CEM I 42,5 R

- wysoka wytrzymałość po 28 dniach dojrzewania, w granicach 60 MPa, przy czym najwyższą wartość uzyskały stwardniałe zaczyny z dodatkiem popiołu lotnego. Poprzez dozowanie większej ilości superplastyfikatora otrzymano wzrost wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, natomiast poprzez zwiększenie ilości domieszki napowietrzającej uzyskano jej spadek;
- im większa ilość popiołu lub domieszki napowietrzającej, tym niższy skurcz przy wysychaniu. W pozostałych zaczynach zauważono wzrost skurczu wraz ze wzrostem dozowanej ilości dodatku czy domieszki;
- zaczyn wykonany z dodatkiem pyłu krzemowo-wapiennego (CaSi) okazał się najbardziej podatny na zjawisko skurczu przy wysychaniu, natomiast najniższy skurcz nastąpił w przypadku zaczynu z dodatkiem popiołu lotnego; stabilizacja tego zjawiska nastąpiła po upływie ok. 40 dni dojrzewania w każdym rozpatrywanym przypadku.

Ocena makroskopowa powierzchni przekroju poprzecznego stwardniałych zaczynów przeprowadzona w powiększeniu 30 razy wykazała:

- zwartą strukturę zaczynu referencyjnego. Zaobserwowano nieliczne pory powietrzne powstałe w wyniku niedostatecznego zagęszczenia mieszanki;
- widoczne cząstki pyłu w stwardniałych zaczynach z udziałem pyłu krzemowo-wapiennego. Zauważono również nieliczne pory o nieregularnym kształcie;
- dosyć znaczną ilość małych porów powietrznych w stwardniałych zaczynach z udziałem popiołu lotnego, które oceniono jako tzw. „powietrze uwięzione”;
- istnienie porów w strukturze stwardniałych zaczynów z udziałem superplastyfikatora, powstałe w wyniku niedostatecznego samooodpowietrzenia;
- pory o kolistym kształcie w stwardniałych zaczynach z udziałem domieszki napowietrzającej, co potwierdza jej skuteczność.

W badaniach właściwości matrycy cementowej stosowano pył krzemowo-wapienny (CaSi), dodatek typu II o właściwościach pucolanowych, który przekazała na rzecz eksperymentów badawczych do KZITB (WBIA/ZUT w Szczecinie) firma Mikrosilika TRADE Natalia

Kurcz ze Stalowej Woli. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano możliwość jego wykorzystania w produktach cementowych, mimo iż w niektórych sytuacjach uzyskano wyraźnie niższe parametry techniczne od pozostałych rozpatrywanych przypadków. Dają jednak podstawę do prowadzenia dalszych badań, które pozwalają na praktyczne realizowanie zapisów Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r., odnośnie wprowadzenia na rynek UE wyrobów budowlanych spełniających ideę zrównoważonego budownictwa, a więc także wykorzystania do ich produkcji surowców odpadowych, którym m.in. jest pył krzemowo-wapienny (CaSi).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jamróży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków, 2000
- [2] Kosmatka S.H., Wilson M.L., Design and Control of Concrete Mixtures, 15th Edition, Portland Cement Association, USA, 2011
- [3] Kurdowski W., Chemia cementu i betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, 2010, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [4] Łukowski P., Domieszki do zapraw i betonów, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków, 2003
- [5] Neville A.M., Właściwości Betonu, Wydanie Czwarte, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków, 2000
- [6] Podstawy technologii materiałów budowlanych i metody badań, pod red. J. Małolepszego, Kraków, 2013

Marzena Gul: Praca dyplomowa magisterska nagrodzona w konkursie na najlepszą pracę dyplomową obronioną w roku akademickim 2016/2017, na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

PASYWNY-BUDYNEK **PL**

branżowy portal internetowy

(42) 653- 57- 03

www.facebook.com/PasywnyBudynekpl

**PORADY FACHOWCÓW
AKTUALNOŚCI Z BRANŻY
INFORMACJE O PRODUKTACH
PROMOCJE
KATALOG FIRM**

Sprawdź nas!

OGRZEWNICTWO **PL**

branżowy portal internetowy

KLIMATYZACJA **PL**

branżowy portal internetowy

BIM

BIM DLA INŻYNIERÓW BUDOWNICTWA

STUDIA PODYPLOMOWE

INSTYTUT TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH W INŻYNIERII LĄDOWEJ L-5
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Instytut Technologii Informatycznych w Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej uruchamia studia podyplomowe:

„BIM dla inżynierów budownictwa”

(11 przedmiotów, 168 godz. zajęć), m. in.:

- „Modelowanie BIM dla konstruktorów”
- „Analiza MES sprzężona z BIM”
- „Zarządzanie danymi BIM i otwarte standardy”

Zajęcia będą się odbywały podczas 14 sobotnich zjazdów.

Dalsze informacje i formularz zgłoszeniowy pod adresem:

www.L5.pk.edu.pl

Pierwsza edycja startuje już w październiku!