
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 31
(październik–grudzień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok X

Warszawa–Opole 2017

SZYMON SIKORA*

BEATA HOŁUJ**

BARTOSZ MICHAŁOWSKI***

MARIUSZ HYNOWSKI****

Wpływ granulowanego żużla wielkopieczowego na kształtowanie właściwości mechanicznych zaczynów geopolimerowych z popiołu krzemionkowego

Słowa kluczowe: zaczyn geopolimerowy, popiół lotny, żużel wielkopieczowy.

Dostępna literatura badawcza na temat materiałów geopolimerowych przygotowanych z krzemionkowego popiołu lotnego poświęcona jest głównie zagadnieniom wiązania i kształtowania właściwości mechanicznych tychże materiałów w temperaturze wyższej niż 45°C. Stosowanie podwyższonej temperatury z praktycznego punktu widzenia, to jest zastosowania spoiw geopolimerowych *in situ* w warunkach budowlanych, jest pewną niedogodnością. Niniejszy artykuł poświęcono zagadnieniu wiązania zaczynów geopolimerowych w temperaturze 5°C oraz 25°C. Jako dodatek modyfikujący proces wiązania oraz właściwości wytrzymałościowe zaczynu geopolimerowego wykorzystano zmielony granulowany żużel wielkopieczowy (*Granulated Blast Furnace Slog* – GBFS) w ilości od 0 do 50% (w/w, względem popiołu lotnego). Dodanie żużla wielkopieczowego w ilości 15% (w/w) pozwala na otrzymanie zaczynu geopolimerowego, którego początek wiązania w temperaturze 5°C jest zbliżony do tego zmierzonego w temperaturze 25°C dla próbki niezawierającej GBFS. Analogiczny efekt obserwowany jest w przypadku wytrzymałości na ściskanie stwardniałych zaczynów geopolimerowych zmierzonej po 56 dniach. W temperaturze wyższej niż 5°C zaobserwowano spadek wytrzymałości materiału w dłuższych okresach przechowywania, jedynie w przypadku, w którym połowę spoiwa stanowił granulowany żużel wielkopieczowy. Wyniki badań zaczynów wiążących w temperaturze 5°C i 25°C porównano z tymi otrzymanymi dla zaczynów poddanych procesowi wygrzewania.

* Mgr inż., Atlas Sp. z o.o., Łódź, ssikora@atlas.com.pl

** Mgr inż., Atlas Sp. z o.o., Łódź, beata.holuj@atlas.com.pl

*** Dr inż., Atlas Sp. z o.o., Łódź, bmichalowski@atlas.com.pl

**** Dr inż., Atlas Sp. z o.o., Łódź, mhynowski@atlas.com.pl

1. Wstęp

Cement portlandzki, którego historia sięga blisko 200 lat, jest najczęściej wykorzystywanym materiałem wiążącym w technologii tradycyjnych materiałów budowlanych. Otrzymywany jest z surowców, takich jak margle, glina oraz kamień wapienny, które mieszane są w proporcjach zapewniających całkowite związanie CaO, a następnie wypalane na klinkier portlandzki w piecu cementowym w temperaturze 1450°C. Proces wypalania klinkieru jest jednym z największych przemysłowych źródeł emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Współczesny przemysł cementowy kształtuje działania na rzecz ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery, zmniejszenia nakładów energetycznych na produkcję cementu oraz oszczędności surowców naturalnych, z których jest on produkowany [1–2].

Alternatywą dla cementu portlandzkiego w określonych zastosowaniach są materiały wiążące, do których zaliczyć można różnego rodzaju spoiwa geopolimerowe. Surowce wykorzystywane do ich wytworzenia to roztwory sodowego i potasowego szkła wodnego, charakteryzujące się odpowiednim modulem molowym ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} > 1,45$) oraz surowce odpadowe bogate w szklivo glinokrzemianowe, takie jak krzemionkowy popiół lotny, czy granulowany żużel wielkopiecowy. W przypadku braku dostępności materiałów odpadowych do wytworzenia spoiwa geopolimerowego wykorzystuje się tuf wulkaniczny lub kalcynowany w 750°C kaolin [3–4].

Dostępne dane literaturowe wskazują, że podczas produkcji spoiwa geopolimerowego emisja dwutlenku węgla jest od czterech do ośmiu razy niższa niż w czasie produkcji tradycyjnych spoiw cementowych, wliczając w to proces otrzymywania roztworu szkła wodnego. Wiązanie zaczynu geopolimerowego jest procesem wieloetapowym, na który składa się szereg reakcji, jak: alkalizacja, depolimeryzacja i polikondensacja [5]. Na skutek reakcji zachodzących w zaczynie powstaje materiał geopolimerowy o amorficznej strukturze, która warunkuje wiele jego właściwości, takich jak wysoka wczesna wytrzymałość mechaniczna, wysoka odporność na korozję chemiczną (nie tylko siarczanową), mrozoodporność oraz wytrzymałość na działanie wysokiej temperatury (nawet do 1200°C). Struktura materiałów geopolimerowych zależy głównie od stosunku molowego krzemu do glinu (Si/Al), który determinuje ich charakter chemiczny, właściwości oraz zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Obecnie geopolimery stosowane są w przemyśle lotniczym, samochodowym, metalurgicznym, budownictwie oraz w odlewnictwie [6–7].

Celem niniejszego artykułu była ocena wpływu temperatury na kształtowanie właściwości wytrzymałościowych zaczynów geopolimerowych o różnej zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego. Badania prowadzono w temperaturze 5°C i 25°C, ważnej z punktu widzenia właściwości aplikacyjnych w warunkach budowlanych, oraz 45°C i 70°C, użytecznej przy tworzeniu prefabrykatów

na bazie zaczynu geopolimerowego. Zbadano również wpływ granulowanego żużla wielkopieczowego na kinetykę wiązania zaczynu geopolimerowego w temperaturze 5°C i 25°C.

2. Część doświadczalna

2.1. Metody badań

Badanie rozkładu ziaren

Badanie uziarnienia surowców sypkich wykonano metodą dyfrakcji laserowej wykorzystując urządzenie Mastersizer 2000, które mierzy rozproszenie światła na badanych ziarnach i analizuje go w celu obliczenia rozkładu wielkości cząstek.

Badanie powierzchni właściwej metodą Blaine'a

Badanie powierzchni właściwej surowców sypkich przeprowadzono wykorzystując aparat Blaine'a zgodnie z wytycznymi PN-EN 196-6:2006 – Metody badania cementu. Oznaczenie stopnia zmielenia.

Badanie gęstości

Badanie gęstości krzemionkowego popiołu lotnego oraz granulowanego żużla wielkopieczowego wykonano wykorzystując kolbę Le Chateliera zgodnie z wytycznymi PN-EN 196-6:2006 – Metody badania cementu. Oznaczenie stopnia zmielenia.

Badanie konsystencji

Do zbadania konsystencji zaczynów geopolimerowych wykorzystano metodę podaną w PN-86 B-04360 – Spoiwa gipsowe. Metody badań. Oznaczenie cech fizycznych. W badaniu posługiwano się metalowym cylindrem ($\phi 50 \pm 0,1$ mm, $h = 100 \pm 0,1$ mm) o polerowanej wewnętrznej powierzchni. Po zakończeniu mieszania otrzymany zaczyn geopolimerowy wlewano do cylindra ustawionego na płytce, a jego nadmiar usuwano nożem i wyrównywano powierzchnię z górną krawędzią cylindra. Po 30 s od zakończenia mieszania, cylinder podnoszono pionowo na wysokość 150–200 mm. Pomiar rozplywu wykonano przy użyciu linijki, mierząc średnicę rozlanego zaczynu w kształcie krążka, w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach, z dokładnością do 5 mm.

Badanie wytrzymałości

Badanie wytrzymałości mechanicznej na ściskanie prób stwardniałych zaczynów geopolimerowych o wymiarach 4 x 4 x 16 cm wykonano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Toni Technik zgodnie z wytycznymi PN-EN 196-1:2006 – Metody badania cementu. Oznaczenie wytrzymałości. Wytrzymałość na ściskanie próbek zbadano po 1, 3, 7, 14, 28 oraz 56 dniach od momentu zafor-

mowania, jej wartość przedstawiono jako średnią \pm odchylenie standardowe z trzech niezależnych pomiarów.

Badanie kinetyki czasu wiązania

Do zbadania kinetyki wiązania zaczynów geopolimerowych wykorzystano urządzenie UltraSonic Multiplex Tester IP-8. Metoda badania polega na ciągłym pomiarze szybkości przemieszczania się fali dźwiękowej przez wiążący i twardniejący zaczyn geopolimerowy pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem urządzenia umieszczonymi w stałej odległości 40 mm. Na podstawie wyznaczonej szybkości przemieszczania się fali dźwiękowej wyznaczono (100 ± 1 m/s) początek wiązania (t_p) i (400 ± 1 m/s) koniec wiązania (t_k) zaczynów geopolimerowych. Badania przeprowadzono w temperaturze 5°C oraz 25°C .

2.2. Materiały

Zaczyny geopolimerowe przygotowano z surowców o wysokiej zawartości szkliska glinokrzemianowego: krzemionkowego popiołu lotnego (Elektrownia Ostrołęka) przygotowanego według PN-EN 450-1:2012 – Popiół lotny do betonu oraz granulowanego żużla wielkopieczowego (Huta Katowice) przygotowanego według PN-EN 15167-1:2007 – Mielony granulowany żużel wielkopieczowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie.

Tabela 1

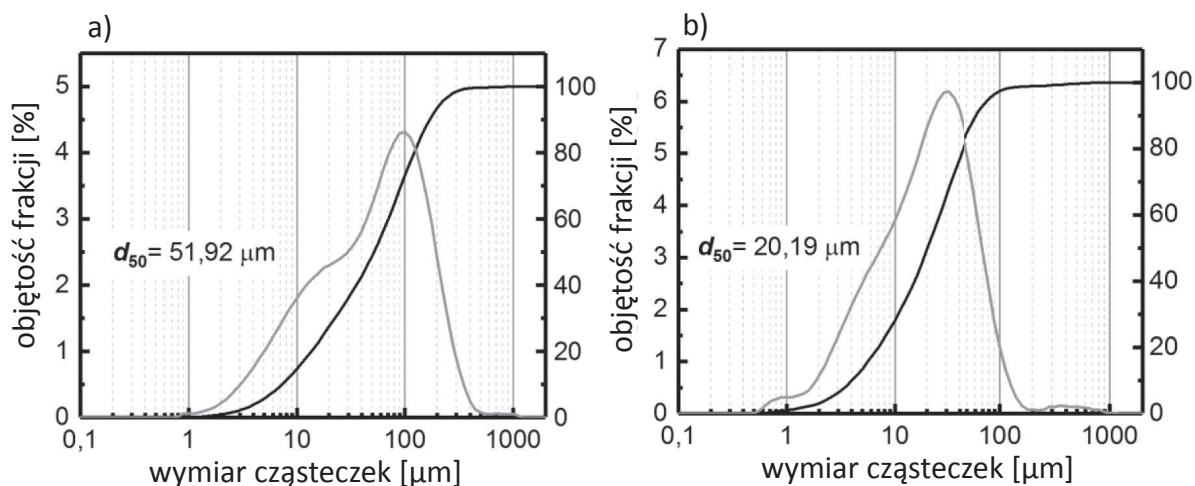
Skład chemiczny surowców wykorzystanych do przygotowania zaczynów geopolimerowych [% mas.]

Surowiec	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
FA	52,91	26,41	10,92	2,23	2,83	0,46	1,14	3,42	6,99
GBFS	40,35	7,79	0,56	41,55	7,34	0,30	0,45	0,31	0,00

Uwagi: FA – krzemionkowy popiół lotny, GBFS – granulowany żużel wielkopieczowy, LOI – straty prażenia.

Źródło: Tab. 1-3 – opracowanie własne.

Do przygotowania roztworu aktywatora wykorzystano: 40% roztwór wodorotlenku sodu oraz roztwór sodowego szkła wodnego (WG) o module molowym MR $\sim 2,5$.



Źródło: Ryc. 1–4 – opracowanie własne.

Ryc. 1. Rozkład wielkości ziaren surowców wykorzystanych do przygotowania spoiwa geopolimerowego: a) krzemionkowy popiół lotny; b) granulowany żużel wielkopiecowy

Tabela 2

Właściwości fizyczne surowców wykorzystanych do przygotowania spoiwa geopolimerowego

Surowiec	Gęstość [kg/m ³]	Powierzchnia właściwa Blaine'a [cm ² /g]
FA	2,04	3500
GBFS	2,93	3800

2.3. Przygotowanie zaczynów

Zaczyny geopolimerowe przygotowano w oparciu o skład chemiczny poszczególnych surowców: krzemionkowego popiołu lotnego (FA), granulowanego żużla wielkopiecowego (GBFS) oraz roztworu aktywatora. Sumaryczne stosunki molowe oraz masowe przygotowanych zaczynów geopolimerowych przedstawiono w tabeli 3. W celu uzyskania roztworu aktywatora o odpowiednim module molowym (SiO₂/Na₂O) wymieszano roztwór sodowego szkła wodnego (WG) z 40% roztworem wodorotlenku sodu. Roztwór aktywatora sporządzano każdorazowo 30 minut przed przygotowaniem zaczynów geopolimerowych. Po tym czasie aktywator dodano do przygotowanej naważki popiołu lotnego i mieszano, wykorzystując mikser planetarny do uzyskania jednorodnej konsystencji. Do tak utworzonego zaczynu dodano odpowiednią ilość granulowanego żużla wielkopiecowego.

T a b e l a 3

Stosunki molowe oraz masowe przygotowanych zaczynów geopolimerowych

GBFS [%]	Stosunki molowe				Stosunki masowe	
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Na ₂ O	Na ₂ O/H ₂ O	SiO ₂ /CaO	WG/NaOH	aktywator/ /spoiwo
0	3,89	7,53	0,08	25,33	4,64	0,37
15	4,17	7,41	0,08	7,47		
25	4,51	7,29	0,08	4,28		
50	5,38	7,05	0,07	2,31		

Dodatek granulowanego żużla wielkopieczowego do zaczynu popiołu lotnego i roztworu aktywatora spowodował zwiększenie lepkości układu z uwagi na powierzchnię właściwą ziaren (tab. 2). Mieszanie składników kontynuowano przez kolejne 3–5 minut, aż do ponownego uzyskania jednorodnej konsystencji. Po zakończeniu mieszania oznaczono konsystencję zaczynu. Gotowy zaczyn geopolimerowy zaformowano w postaci kształtek o wymiarze 4 x 4 x 16 cm. Formy z kształtkami włożono do worków foliowych, aby uniemożliwić odparowanie wody z zaczynu, która potrzebna jest do zapewnienia odpowiedniej migracji jonów sodu i potasu w tworzącej się matrycy geopolimerowej [5]. Po rozformowaniu połowę próbek przechowywano odpowiednio przez okres 1, 3, 7, 14, 28 oraz 56 dni w temperaturze 5°C oraz 25°C. Natomiast drugą połowę wygrzewano przez 8 godzin w temperaturze 45°C lub 70°C, a dalej przechowywano w temperaturze 25°C przez okres 1, 3, 7, 14, 28 oraz 56 dni.

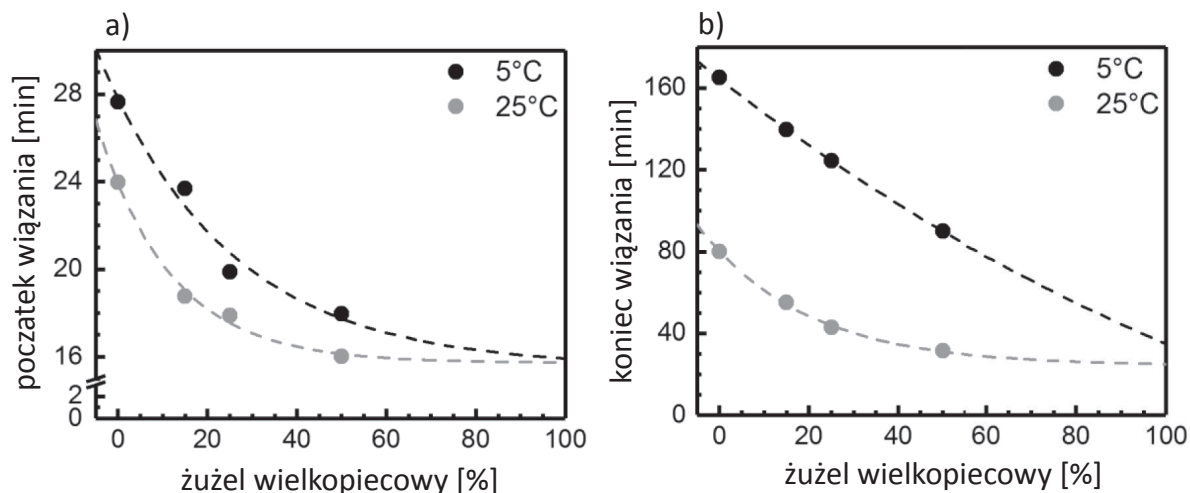
3. Wyniki i dyskusja

Wpływ żużla wielkopieczowego na kinetykę wiązania zaczynów geopolimerowych w temperaturze 5°C i 25°C

Czas wiązania jest czynnikiem determinującym użyteczność materiału wiążącego w warunkach aplikacyjnych. Dostępna literatura dostarcza jedynie informacji dotyczących wiązania materiałów geopolimerowych w warunkach, w których wymagana jest dodatkowa aktywacja temperaturowa. Biorąc pod uwagę warunki panujące w klimacie umiarkowanym, przeprowadzono badania dotyczące pomiaru czasu początku i końca wiązania na podstawie przebiegu kinetyki procesu wiązania zaczynu geopolimerowego w temperaturze 5°C i 25°C.

Geopolimery to materiały powstające z surowców bogatych w szkło glinokrzemianowe. Wykorzystanie podwyższonej temperatury w momencie wiązania zaczynów ułatwia rozpad glinokrzemianów, dzięki czemu więcej aktywnych jonów Si⁴⁺ oraz Al³⁺, występujących w postaci odpowiednich monomerów

$[\text{SiO}_n(\text{OH})_{4-n}]^{n-}$ oraz $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, jest dostępnych do dalszych etapów procesu geopolimeryzacji, m.in. reakcji tworzenia żelu geopolimerowego [8]. Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono, że czas wiązania zaczynu geopolimerowego przygotowanego z krzemionkowego popiołu lotnego w temperaturze 5°C uległ dwukrotnemu wydłużeniu w stosunku do materiału wiążącego w temperaturze pokojowej (25°C) (ryc. 2 b).

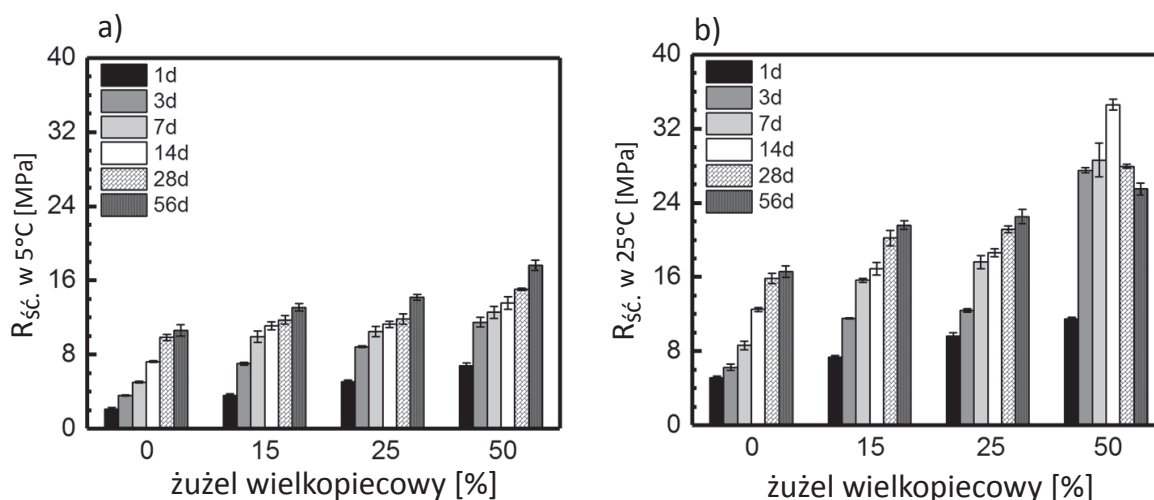


Ryc. 2. Wpływ granulowanego żużla wielkopieczowego na: a) początek wiązania oraz b) koniec wiązania zaczynu geopolimerowego. Badania przeprowadzono w temperaturze: 5°C oraz 25°C

Skrócenie czasu wiązania zaczynu geopolimerowego możliwe jest bez zwiększenia temperatury, m.in. poprzez zastosowanie granulowanego żużla wielkopieczowego jako dodatku. Dodanie GBFS w ilości 15% (w/w) pozwala na otrzymanie zaczynu geopolimerowego, którego początek wiązania w temperaturze 5°C zbliżony jest do tego zmierzonego w temperaturze 25°C dla próbki niezawierającej GBFS (ryc. 2 a). W przypadku końca wiązania dopiero 50% (w/w) dodatek żużla pozwala na uzyskanie takiego samego efektu. Należy zauważyć, iż zarówno w temperaturze 5°C , jak i 25°C dalsze zwiększanie ilości granulowanego żużla wielkopieczowego wpływa na skrócenie początku i końca wiązania zaczynu geopolimerowego (ryc. 2 i 2 b). Efekt ten spowodowany jest z obecnością CaO , który obok SiO_2 jest głównym składnikiem użytego żużla wielkopieczowego (tab. 1). Skrócenie czasu wiązania zaczynu geopolimerowego zawierającego CaO związane jest głównie z tworzeniem C-S-H (uwodniony krzemian wapnia) równocześnie z powstającą matrycą geopolimeru [5, 9].

Wytrzymałość na ściskanie zaczynów geopolimerowych wiążących w różnej temperaturze

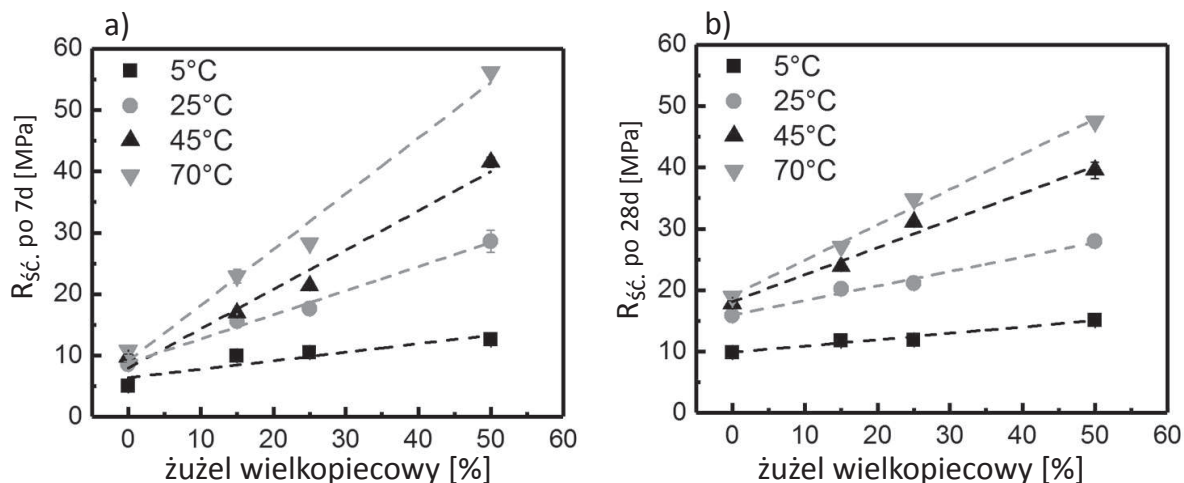
Dostępność jonów krzemu i glinu uzyskanych po rozpadzie związków glinokrzemianowych ma również znaczący wpływ na kształtowanie wczesnej, jak i późnej wytrzymałości na ściskanie stwardniałych zaczynów geopolimerowych.



Ryc. 3. Wpływ granulowanego żużla wielkopieczowego na kształtowanie w czasie wytrzymałości na ściskanie stwardniałego zaczynu geopolimerowego. Wytrzymałość na ściskanie oznaczono po 1, 3, 7, 14, 28 oraz 56 dniach. Próbki przechowywano w temperaturze: a) 5°C oraz b) 25°C

Dodatek granulowanego żużla wielkopieczowego umożliwia osiągnięcie wysokich parametrów wytrzymałości materiału nawet w temperaturze 5°C (ryc. 3 a i 3 b). Zmielony granulowany żużel wielkopieczowy w ilości 50% (w/w) w temperaturze 5°C umożliwia otrzymanie po 56 dniach materiału o wytrzymałości na ściskanie ($R_{sc} = 17,5$ MPa) porównywalnej z tą osiągniętą ($R_{sc} = 16,6$ MPa) przez materiał bez dodatku GBFS, wiążący w temperaturze 25°C (ryc. 3 a i 3 b). Materiały geopolimerowe wykonane z krzemionkowego popiołu lotnego oraz granulowanego żużla wielkopieczowego w temperaturze poniżej 25°C charakteryzuje inny mechanizm wiązania, w którym dominuje proces aktywacji alkalicznej żużla wielkopieczowego skutkujący powstaniem C-S-H, zapewniający wiązanie oraz osiągnięcie wyższej wytrzymałości materiału [10–11].

Wzrost temperatury reakcji powyżej 25°C wpływa na uaktywnienie procesu geopolimeryzacji. Dane literaturowe wskazują, że wzrost temperatury z 23 do 75°C pozwala na uzyskanie od 2 do 3 razy więcej aktywnych jonów krzemu i glinu, co przekłada się na wyższą wytrzymałość mechaniczną materiałów geopolimerowych poddanych procesowi wygrzewania [8]. W takim przypadku za proces wiązania odpowiadać będą dwa konkurencyjnie działające mechanizmy, skutkujące współistnieniem C-S-H oraz żelu geopolimerowego na wczesnym etapie tego procesu [5, 11]. Ten efekt powoduje powstanie materiału o wysokich parametrach wytrzymałościowych, w dużo krótszym czasie (ryc. 4 a i 4 b).



Ryc. 4. Wpływ temperatury na kształtowanie wytrzymałości na ściskanie (R_{sc}) stwardniałego zaczynu geopolimerowego z dodatkiem granulowanego żużla wielkopieczowego. Wytrzymałość na ściskanie oznaczono po: a) 7 oraz b) 28 dniach

W przypadku, w którym do układu reakcyjnego wraz z granulowanym żużlem wielkopieczowym dostarczymy za dużą ilość CaO (50% GBFS), w układzie powstaje nadmiar $\text{Ca}(\text{OH})_2$, który jest niekorzystny ze względu na możliwość reagowania z zawartym w powietrzu CO_2 (karbonatyzacja). Produktem tej reakcji jest CaCO_3 , którego obecność powoduje redukcję wytrzymałości materiału w dłuższych okresach dojrzewania (ryc. 3 b), zmniejszając również odporność na działanie wysokiej temperatury oraz czynników chemicznych [12].

4. Wnioski

Uzyskane wyniki badań potwierdziły możliwość otrzymania materiałów geopolimerowych wytworzonych z krzemionkowego popiołu lotnego z Elektrowni Ostrołęka oraz granulowanego żużla wielkopieczowego z Huty Katowice. Granulowany żużel wielkopieczowy dzięki dużej zawartości CaO w swoim składzie chemicznym umożliwia osiągnięcie korzystnych właściwości materiału nawet w temperaturze 5°C. Zawartość 15% (w/w) GBFS pozwala na otrzymanie zaczynu geopolimerowego, którego początek wiązania w temperaturze 5°C zbliżony jest do tego zmierzonego w temperaturze 25°C, przy czym nie ma on większego wpływu na koniec wiązania. Dodatek 50% (w/w) GBFS do zaczynu wiążącego w temperaturze 5°C pozwala na otrzymanie materiału charakteryzującego się po 56 dniach podobną wytrzymałością co zaczyn geopolimerowy bez dodatków, wiążący w temperaturze 25°C.

Dodatek GBFS powoduje skrócenie czasu początku i końca wiązania oraz poprawia parametry wytrzymałościowe stwardniałego zaczynu w każdej temperaturze określonej w niniejszej pracy. Przyrost wytrzymałości jest tym wyższy, im wyższa jest temperatura dojrzewania zaczynu geopolimerowego. Obserwowany

efekt jest skutkiem uaktywnienia procesu geopolimeryzacji w wyższej temperaturze, współistnieniem powstałego C-S-H oraz żelu geopolimerowego. W temperaturze wyższej niż 5°C następuje redukcja wytrzymałości materiału w przypadku 50% (w/w) dodatku GBFS w dłuższych okresach kondycjonowania, stąd zaleca się stosować GBFS w ilości nie większej niż 25% (w/w)*.

Literatura

- [1] G i e r g i c z n y Z., *Vademecum technologa betonu*, Góraźdze Cement S.A., 2016, www.gorazdze.pl/pl/node/9722 (12.07.2017).
- [2] T s a k i r i d i s P.E., P a p a d i m i t r i o u G.D., T s i v i l i s S., K o r o n e o s C., *Utilization of steel slag for Portland cement clinker production*, „Journal Hazardous Materials” 2008, Vol. 152, Issue 2, s. 805–811.
- [3] D a v i d o v i t s J., *Geopolymer-chemistry and sustainable development. The Poly(sialate) terminology: a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry*, Geopolymer, Green Chemistry and Sustainable Development Solutions, Saint-Quentin 2005, s. 9–13.
- [4] M a ł o l e p s z y J., D e j a J., B r y l i c k i W., *The Application of Metallurgical Slags for the Building Materials Production in Poland*, „Studies in Environmental Science” 1991, Vol. 48, s. 671–672.
- [5] D a v i d o v i t s J., *Geopolymer Chemistry and Applications*, 4. ed., Institut Géopolymère, Saint-Quentin 2015, s. 283–390.
- [6] G o u r l e y J.T., J o h n s o n G.B., *Development in geopolymer precast concrete*, Geopolymer, Green Chemistry and Sustainable Development Solutions, Saint-Quentin 2005, s. 139–143.
- [7] W a l l a h S.E., R a n g a n B.V., *Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete: Long-Term Properties, Research Report GC 2*, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth 2006, s. 4–88.
- [8] G u o X., S h i H., C h e n L., D i c k W.A., *Alkali-activated complex binders from class C fly ash and Ca-containing admixtures*, „Journal Hazardous Materials” 2010, Vol. 173, Issue 1/3, s. 480–486.
- [9] H o j a t i M., R a d l i Ń s k a A., *Shrinkage and strength development of alkali-activated fly ash-slag binary cements*, „Construction and Building Materials” 2017, Vol. 150, s. 808–816.
- [10] T e m u u j i n J., v a n R i e s s e n A., W i l l i a m s R., *Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes*, „Journal Hazardous Materials” 2009, Vol. 167, Issue 9, s. 82–88.
- [11] K u m a r S., K u m a r R., M e h r o t r a S.P., *Influence of granulated blast furnace slag on the reaction, structure and properties of fly ash based geopolymer*, „Journal of Materials Science” 2010, Vol. 45, Issue 3, s. 607–615.

* Praca została sfinansowana ze środków firmy Atlas Sp. z o.o. wpłaconych na poczet VIII Konferencji Naukowej „Energia i Środowisko”.

[12] Yip C.K., Lukey G.C., van Deventer J.S.J., *The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate at the early stage of alkaline activation*, „Cement and Concrete Research” 2005, Vol. 35, Issue 9, s. 1688–1697.

SZYMON SIKORA
BEATA HOŁUJ
BARTOSZ MICHAŁOWSKI
MARIUSZ HYNOWSKI

THE INFLUENCE OF GROUND BLAST FURNACE SLAG ADDITION
ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF FLY ASH-BASED
GEOPOLYMER SLURRIES

Keywords: geopolymer slurry, fly ash, blast furnace slag.

Most of the available literature on fly-ash class F based geopolymers was on properties of slurries hardened by heat curing, which is considered as a limitation for cast *in situ* application at low ambient temperatures. Thus, this work was dedicated to the setting and gaining the mechanical properties of geopolymers slurries in the temperature 5°C and 25°C. In this work, the ground blast furnace slag (GBFS) has been used to alter the geopolymerisation behavior of fly ash based geopolymer slurry. **We have shown that the addition of GBFS at weight concentration of 15% cause the geopolymer slurry to set in the same time manner as in the ambient temperature.** Also, the mechanical properties measured after 56 days of incubation were at a similar level. We have observed that during the curing of geopolymer slurries with concentration of GBFS around 50%, long term durability was decreased. The results obtained for samples cured at the temperature of 5°C and 25°C were compared to these obtained at temperatures higher than 25°C.