

Właściwości zapraw cementowych modyfikowanych wybranymi popiołami

Monika Bała, Monika Łukawska, Wojciech Piasta

*Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa,
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska,
e-mail: monika.bala91@gmail.com, monikalukawska@interia.pl, wpiasta@tu.kielce.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań składu chemicznego i wybranych właściwości popiołów lotnych krzemionkowych oraz popiołów pochodzących z utylizacji osadów ściekowych. Zaprezentowane w artykule wyniki badań dotyczą wpływu ww. popiołów na wybrane właściwości świeżych zapraw. Dokonano również identyfikacji faz krystalicznych, korzystając z analizy XRD. Za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego zauważono, iż ziarna popiołu krzemionkowego różnią się kształtem w porównaniu z zianami popiołu pochodzącego z utylizacji osadów ściekowych. Z kolei z obserwacji zapraw wynika, że faza C-S-H zaprawy z dodatkiem popiołu krzemionkowego i popiołu z osadów ściekowych jest dość zwarta. Wykonano także badanie wytrzymałości zapraw na ściskanie po 28 i 90 dniach dojrzewania.

Słowa kluczowe: popiół z utylizacji osadów ściekowych, popiół lotny krzemionkowy, skład chemiczny i fazowy, mikrostruktura zapraw, wytrzymałość na ściskanie.

1. Wstęp

Obecny rozwój wiedzy w zakresie materiałów budowlanych, w tym cementu, skłania do stosowania rozwiązań korzystnych zarówno pod względem ekonomicznym, jak również ekologicznym. Niewątpliwie zastosowanie dodatków do cementu lub betonu w postaci popiołów lotnych wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju. Ich użyteczność pozwala na ograniczenie ilości klinkieru portlandzkiego potrzebnego do wytworzenia cementu, a co za tym idzie podczas produkcji obniża się zużycie energii oraz redukuje emisję CO₂. Dużą zaletą stosowania popiołów lotnych jest również utylizacja produktów ubocznych powstających w wyniku procesów przemysłowych [1]. Właściwe wykorzystanie popiołów lotnych wpływa także na poprawę wybranych właściwości zapraw i betonów.

Zgodnie z normą PN-EN 450-1:2009 +A1 [2] popioły lotne są określane jako dodatek typu II do betonu. Istotną kwestią stanowi tutaj parametr jakościowy, którym jest wskaźnik aktywności, czyli stosunek procentowy wytrzymałości na ściskanie beleczek wykonanych w odpowiednich proporcjach cementu porównawczego i masy popiołu lotnego do wytrzymałości na ściskanie beleczek wykonanych z zaprawy normowej. Według normy wskaźnik aktywności po 28 dniach dojrzewania nie powinien być poniżej 75% wytrzymałości zaprawy, natomiast po 90 dniach dojrzewania powinien osiągnąć minimum 85% wytrzymałości na ściskanie wykonanej na cemencie porównawczym. Wykorzystany do badań cement porównawczy musi spełniać wymagania określone w normie PN-EN 197-1 [3]. Nierozstrzygniętą kwestią do tej pory pozostaje jednak możliwość stosowania popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych, który nie

został jeszcze w pełni zaakceptowany jako dodatek do cementu lub betonu [4]. Wysoka zawartość krzemionki w popiele z osadów ściekowych może wykazywać aktywność pucolanową, zachęcającą do zastosowania w betonie.

1.1. Popioły lotne krzemionkowe

Popiół lotny krzemionkowy powstaje jako produkt uboczny spalania węgla kamiennego w temperaturze 1300-1450°C w kotłach energetycznych. Jest drobnoziarnistym materiałem pylistym, jego ziarna mają kulisty kształt i gładką, szklaną powierzchnię [5]. O gęstości popiołu, która mieści się w granicach 2,1-2,4 g/cm³, decyduje głównie jego skład chemiczny oraz uziarnienie, wpływające także na wodoodporność popiołów lotnych [6],[7]. Istotny wpływ na właściwości pucolanowe popiołu krzemionkowego ma budowa fazy szklistej i skład ziarnowy. Do głównych składników popiołu należą dwutlenek krzemu SiO₂ oraz tlenek glinu Al₂O₃. W mniejszych ilościach występuje także tlenek żelaza Fe₂O₃ [8]. Zastosowanie popiołu krzemionkowego jako dodatku do cementu niesie ze sobą szereg zalet. Do najważniejszych należy zaliczyć: opóźniony początek wiązania zaczynu, właściwą urabialność mieszanki betonowej, wysoką odporność na działanie czynników korozyjnych oraz bardzo dobre parametry wytrzymałościowe [7].

1.2. Popiół z utylizacji osadów ściekowych

Osady ściekowe są produktami ubocznymi technologii oczyszczania ścieków. Utylizacja osadów ściekowych związana jest z suszeniem i spalaniem, w wyniku którego powstaje popiół. Produkt może znaleźć zastosowanie jako dodatek do betonu lub cementu [9], [10]. Należy jednak pamiętać, że popiół z utylizacji osadów ściekowych musi spełniać kryteria zawarte w normie PN-EN 450-1+A1 2009 [2], która dopuszcza stosowanie popiołu pochodzącego ze współspalania pyłu węglowego z materiałami roślinnymi, drewnem, odpadami zwierzęcymi, osadami ze ścieków komunalnych. Literatura podaje, że możliwe jest dodanie 20% popiołu do cementu [10]. W przypadku użycia popiołu z utylizacji osadów ściekowych jako składnika zastępującego część klinkieru portlandzkiego w cemencie należy wziąć pod uwagę aktywność pucolanową, która wynika ze składu chemicznego i mineralnego. Popioły te charakteryzują się różnym i zmiennym składem, zależącym od rodzaju ścieków oraz sposobu ich oczyszczania i utylizacji. W praktyce wpływ składu chemicznego widoczny jest przede wszystkim w opóźnionym przyroście wytrzymałości [11]. Nie do końca jednak wyjaśniony został długoterminowy rozwój wytrzymałości, który może być jednym z czynników decydujących o przydatności popiołów z utylizacji osadów ściekowych do spoiw cementowych. Powolne narastanie wytrzymałości betonów może wynikać z dużej ilości związków fosforu w popiołach z osadów ściekowych. Obecność jonów fosforanowych w zaczynie cementowym może opóźnić proces hydratacji i twardnienia [12].

2. Materiały do badań

W badaniach własnych został wykorzystany cement portlandzki CEM I 42,5, popiół krzemionkowy (FA), popiół z utylizacji osadów ściekowych (SSA) z komunalnej oczyszczalni ścieków oraz kruszywo naturalne (piasek). Wszystkie badania zostały przeprowadzane w zaprawach, w których stosunek wagowy składników spoiwo : piasek : woda był stały i wynosił 1:3:0,55. Wykonano zaprawy, w których część cementu portlandzkiego zastąpiono popiołem krzemionkowym bądź popiołem z utylizacji ściekowych. Poza tym doświadczenie obejmowało także wykonanie zaprawy kontrolnej, zawierającej jedynie cement

portlandzki. W poniższej tabeli (Tab. 1) przedstawiono procentowe zawartości cementu portlandzkiego i popiołów w spoiwie w analizowanych zaprawach.

Tabela 1. Skład procentowy spoiwa analizowanych zapraw

Oznaczenie serii zaprawy	Zawartość [%]		
	cement portlandzki	popiół krzemionkowy	popiół z utylizacji osadów ściekowych
CEM I	100	0	0
FA 10	90	10	0
FA 20	80	20	0
SSA 10	90	0	10
SSA 20	80	0	20

3. Metody badań

Plan badań obejmował 5 serii zapraw, które zostały wykonane zgodnie z ujednoczoną procedurą dozowania, mieszania i formowania próbek. Badanie świeżych zapraw obejmowało oznaczanie konsystencji według PN-EN 1015-3:2000 [13], gęstości objętościowej oraz zawartości powietrza metodą ciśnieniową zgodnie z PN-EN 12350-7:2011 [14]. Ocenę wytrzymałości na ściskanie wykonano na beleczkach w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 40 x 40 x 160 mm w oparciu o normę PN-EN 196-1:2006 [15]. Bezpośrednio po przygotowaniu zaprawy uformowano beleczki, które zostały rozformowane po 24 godzinach. Następnie umieszczono je w wodzie o temperaturze 20 ± 1 °C, na rusztach, co zapewniło swobodny dostęp wody do całej powierzchni próbek. Beleczki przebywały w wodzie do czasu badania wytrzymałości, które wykonano po 28 i 90 dniach na połówkach beleczek.

Metodyka badań obejmowała również określenie składu chemicznego za pomocą WDXRF oraz identyfikację faz krystalicznych wykorzystując do tego analizę rentgenowską XRD. Poza tym skorzystano ze skaningowej analizy mikroskopowej razem z analizą w mikroobszarach (SEM-EDS), dzięki którym zaobserwowano mikrostrukturę zapraw cemento-popiołowych oraz identyfikację pierwiastków chemicznych wchodzących w ich skład.

4. Wyniki badań

4.1. Skład chemiczny i mikrostruktura popiołów

Wyniki badań składu chemicznego popiołu z osadów ściekowych (SSA) zostały przedstawione w Tab. 2. Poza podstawowymi składnikami (CaO, SiO₂, Al₂O₃), zaobserwowano znaczącą zawartość fosforu oraz niewielką zawartości metali (Tab. 3), które nie zagrażają bezpieczeństwu zastosowania do zapraw i betonów

Tabela 2. Skład chemiczny popiołu z osadów ściekowych

Składnik	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl-	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
Zawartość [%]	16,60	5,10	9,10	12,90	3,80	2,10	0,01	15,00	3,50	2,80

Tabela 3. Zawartość metali w popiele z osadów ściekowych

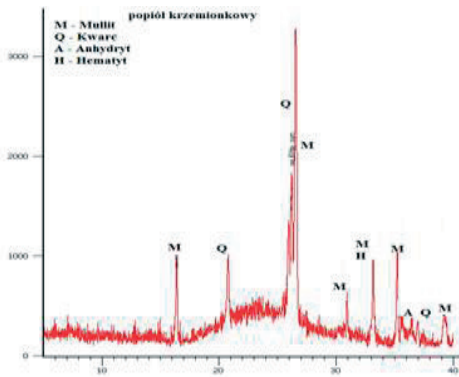
Pierwiastek	Cr	Mn	Cu	Ni	Zn	Ba	Pb	Sn
Zawartość [%]	0,02	0,07	0,06	0,01	0,30	0,09	0,01	0,01

Do składników chemicznych popiołów krzemionkowych (Tab.4.) należy zaliczyć: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , pochodzące z rozkładu minerałów ilastych, piryty i kalcytu, które są składnikami nieorganicznymi węgla [16].

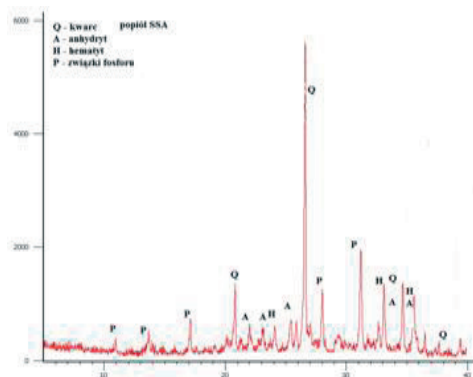
Tabela 4. Skład chemiczny popiołu krzemionkowego

Składnik	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Cl-	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$
Zawartość [%]	50,50	26,10	7,40	4,50	2,90	0,50	0,01	nie oznaczono

Składy fazowe popiołu krzemionkowego oraz popiołu z utylizacji osadów ściekowych zostały przedstawione na Rys. 1. oraz Rys.2.

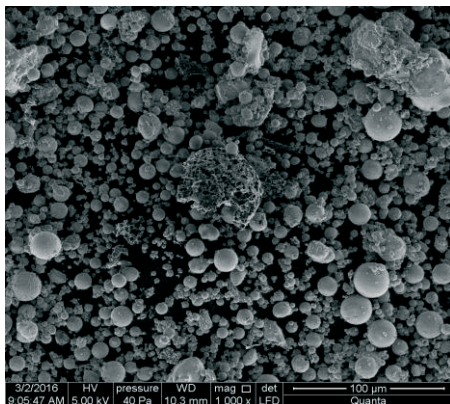


Rys. 1. Skład fazowy popiołu lotnego krzemionkowego.

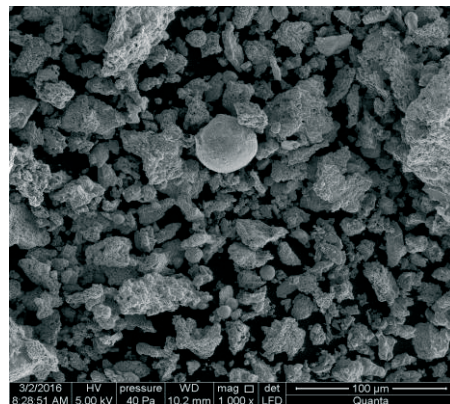


Rys. 2. Dyfraktogram popiołu z utylizacji osadów ściekowych

Główne fazy krystaliczne w popiele krzemionkowym to: kwarc, hematyt, mulit i anhydryt. Pozostałe fazy są bezpostaciowe lub występują w niewielkiej ilości i nie są wykrywalne podczas analizy XRD. Z kolei w popiele z osadów ściekowych zidentyfikowano takie fazy jak kwarc, hematyt, anhydryt a także fazy zawierające fosfor. Łatwo zauważyć, że kwarc, hematyt i anhydryt występują w obu popiołach. Muliit występuje jedynie w popiele krzemionkowym, a związki fosforu tylko w popiele z utylizacji osadów ściekowych.



Rys. 3. Mikrostruktura popiołu krzemionkowego



Rys. 4. Mikrostruktura popiołu z utylizacji osadów ściekowych

W popiele krzemionkowym (Rys.3) występują przede wszystkim regularne ziarna o kształcie kul i gładkiej powierzchni. Natomiast kształt ziaren popiołu z utylizacji osadów ściekowych (Rys.4) jest w głównej mierze nieregularny, a ziaren o gładkiej powierzchni jest znacznie mniej.

4.2. Badania świeżych zapraw

Oznaczenie konsystencji zapraw, ich gęstość objętościowa oraz zawartość powietrza zostały przedstawione w poniższej tabeli (Tab.5).

Tabela 5. Wyniki wybranych badań świeżych zapraw cementowo-popiołowych.

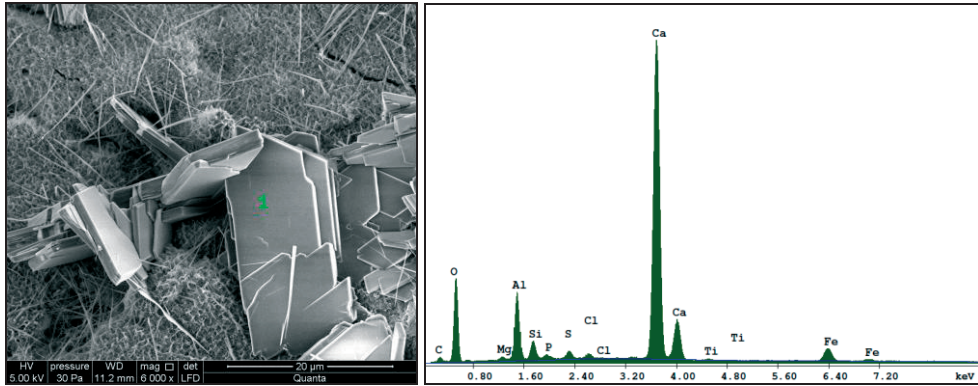
Oznaczenie serii zapraw	Średnica rozplywu [cm]	Gęstość objętościowa [kg/m ³]	Zawartość powietrza [%]
CEM I	13,5	2160,0	5,2
V 10	14,0	2097,1	8,0
V 20	15,0	2064,4	8,0
SSA 10	13,0	1937,7	13,0
SSA 20	10,5	1892,5	10,0

Dodatek popiołu krzemionkowego sprawił, że średnica rozplywu nieznacznie zwiększyła się o 0,5 cm w przypadku 10% zawartości popiołu i 1,5 cm dla 20% zawartości popiołu w porównaniu do zaprawy z cementu portlandzkiego. Inaczej było w przypadku popiołu z osadów ściekowych, gdzie średnica rozplywu była mniejsza niż dla zaprawy z cementu portlandzkiego, odpowiednio o 0,5 i 3 cm dla dodatku 10% i 20% popiołu. W przypadku wszystkich zapraw z dodatkami gęstość objętościowa w porównaniu do zaprawy kontrolnej zmniejszała się. Im więcej cementu zostało zastąpione popiołem, tym mniejszą gęstość objętościową zaprawy uzyskano. Zawartość powietrza w zaprawie cementowej wyniosła 5,2%. W zaprawie z popiołem krzemionkowym, niezależnie od ilości dodatku powietrze stanowiło 8%. Znacznie wyższą zawartość powietrza otrzymano dla zapraw modyfikowanych popiołem z osadów ściekowych. Dodatek w ilości 10% tego popiołu spowodował, że zawartość powietrza wyniosła aż 13%, dla 20% popiołu była niższa, ponieważ kształtowała się w granicach 10% powietrza, jednak była prawie dwukrotnie wyższa niż dla zaprawy z cementu portlandzkiego. Prawdopodobnie dość duża zawartość powietrza związana jest z nieregularną budową i rozwiniętą powierzchnią ziaren popiołów z utylizacji popiołów ściekowych.

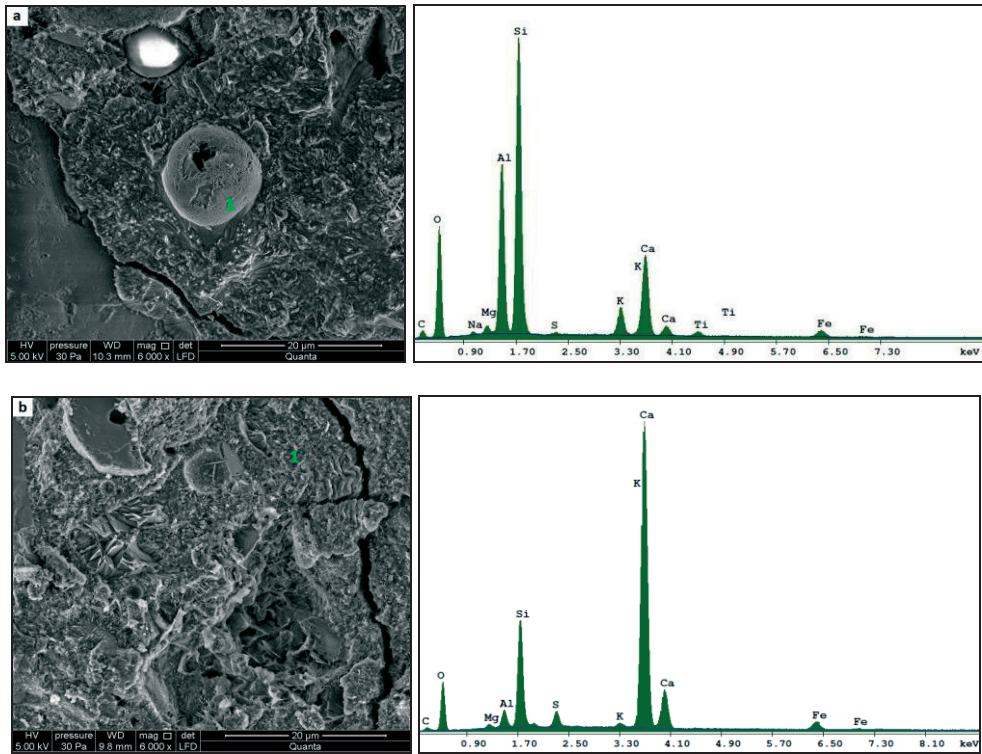
4.3. Mikrostruktura zapraw cementowych modyfikowanych popiołami

Wybrane wyniki skaningowej analizy mikroskopowej oraz analizy w mikroobszarach EDS zostały przedstawione na poniższych rysunkach (Rys. 3-7). W analizie zaprawy z cementu portlandzkiego (Rys.5) zaobserwowano nieregularną, zwartą fazę C-S-H. Dodatkowo zaobserwowano kryształki portlandytu, co potwierdziła analiza EDS.

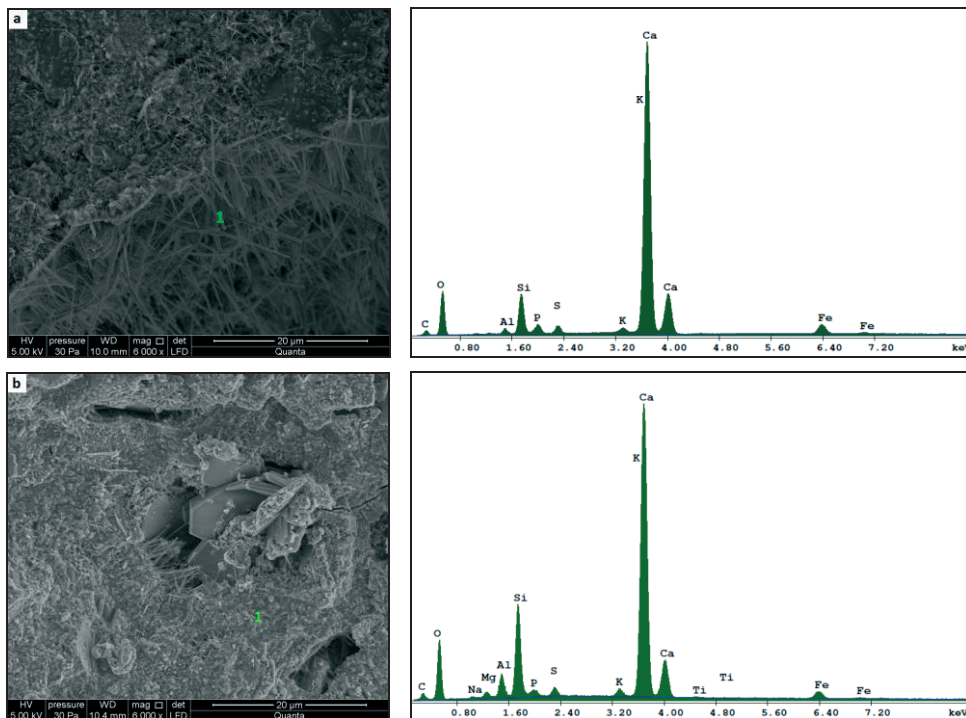
Kolejne obrazy ukazują mikrostruktury zapraw cementowych modyfikowanych popiołami: krzemionkowym (Rys.6) oraz popiołem z osadów ściekowych (Rys.7), która różni się od mikrostruktury zapraw wykonanych wyłącznie z cementu portlandzkiego. Na Rys. 6a widoczne jest ziarno popiołu lotnego krzemionkowego, dla którego została wykonana również analiza EDS. Obserwacja zapraw z zawartością 20% popiołu lotnego krzemionkowego (rys. 6b) przedstawia żel C-S-H oraz ziarna popiołu. W zaprawie z dodatkiem popiołu z osadów ściekowych zaobserwowano włóknistą formę fazy C-S-H (Rys. 7a i 7b).



Rys. 5. Mikrostruktura zaprawy cementowej bez dodatków wraz z analizą EDS w zaznaczonym punkcie.



Rys. 6. Mikrostruktura zapraw cementowych z dodatkiem 10% (rys.6a) oraz 20% (rys. 6b) popiołu lotnego krzemionkowego wraz z analizą EDS w zaznaczonych punktach.

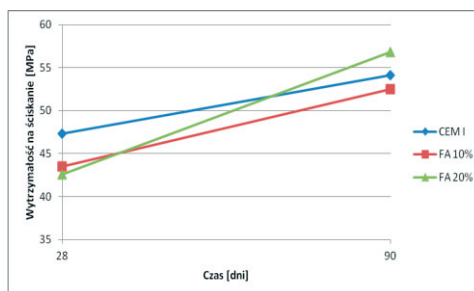


Rys. 7. Mikrostruktura zapraw cementowych z dodatkiem 10% (rys. 7a) oraz 20% (rys. 7b) popiołu z utylizacji osadów ściekowych wraz z analizą EDS w zaznaczonych punktach.

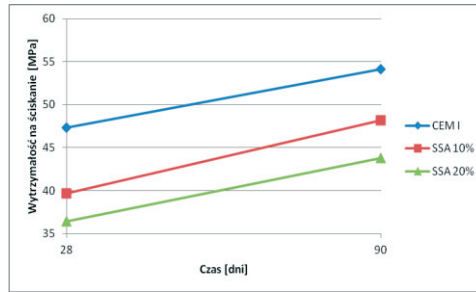
4.4. Wytrzymałość na ściskanie

Badanie wytrzymałości na ściskanie wykonano po 28 i 90 dniach dojrzewania (Rys. 8. i Rys. 9.). W obu przypadkach zaprawy z dodatkiem popiołu po 28 dniach osiągnęły niższe wytrzymałości niż zaprawy kontrolne wykonane wyłącznie z cementu portlandzkiego.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że dodatek popiołu z osadów ściekowych powoduje wolniejszy przyrost wytrzymałości w porównaniu do zapraw z popiołem krzemionkowym. Spowodowane jest to wysoką zawartością jonów fosforanowych, w wyniku czego następuje znaczne spowolnienie hydratacji oraz obniżenie wytrzymałości wczesnych [16]. Zaobserwowano również od 28 do 90 dni znaczny przyrost wytrzymałości dla wszystkich serii z dodatkiem popiołów, zarówno w ilości 10%, jak i 20%.



Rys. 8. Średnia wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych z popiołem krzemionkowym (FA) po 28 i 90 dniach dojrzewania.



Rys. 9. Średnia wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych z popiołem z osadów ściekowych (SSA) po 28 i 90 dniach dojrzewania.

5. Analiza i dyskusja wyników

Na podstawie badań świeżych zapraw można zaobserwować korzystny wpływ dodatku popiołu lotnego krzemionkowego na urabialność, badaną na podstawie zmian rozplywu. Wpływ ten związany jest z kulistym kształtem ziaren popiołu, z których większość stanowią pełne kule, ale spotykane są także ziarna puste w środku. [6]. Z kolei dodatek popiołu z osadów ściekowych powoduje zmniejszenie urabialności świeżej zaprawy. Prawdopodobnie wynika to z nieregularnej budowy ziaren tego popiołu, a także dużej wodoządnosci cząstek o znacznej powierzchni [10]. Kształt i budowa ziaren wpływają również na różnice w gęstościach objętościowych oraz zawartości powietrza badanych zapraw.

Badania składu chemicznego popiołu krzemionkowego i popiołu z osadów ściekowych wykazały, że w ich składach występują znaczące różnice. Zawartość tlenu krzemu (SiO_2) w popiele z osadów ściekowych kształtowała się w granicach 16,6 % i była zdecydowanie niższa niż w przypadku popiołu lotnego krzemionkowego, gdzie wyniosła blisko 50,5 %. Ilość tlenu glinu (Al_2O_3) w SSA to 5,1 % zaś w FA 16 %. Natomiast ilość tlenu wapnia (CaO) wyniosła odpowiednio 12,9% dla popiołu z osadów ściekowych oraz 4,5% dla popiołu lotnego krzemionkowego.

Należy podkreślić, że w popiele z osadów ściekowych występują związki fosforu, których nie wykryto w popiele krzemionkowym. Ponadto SSA zawiera śladowe ilości metali ciężkich. Na podstawie rozpoznania faz krystalicznych za pomocą dyfraktometrii rentgenowskiej (Rys. 1 oraz Rys.2) stwierdzono zawartość kwarcu, hematytu i anhidrytu dla obu popiołów.

Różnice mikrostruktury między zaprawą kontrolną z cementu portlandzkiego, a zaprawami z popiołem lotnym krzemionkowym i popiołem z osadów ściekowych najbardziej widać w budowie fazy C-S-H. Obserwacje skaningowym mikroskopem elektronowym wykazały, że faza C-S-H w przypadku zapraw cementowych jest relatywnie nieregularna i zwarta. Z kolei na mikrografii zapraw modyfikowanych popiołami krzemionkowymi zaobserwowano nieprzereagowane ziarna, co powoduje efekt uszczelniający. To z kolei utrudnia dyfuzję i oddziaływanie czynników agresywnych. W mikrostrukturze zapraw z popiołem pochodzącym z osadów ściekowych zaobserwowano zwartą fazę C-S-H i brak dużych porów, co może wynikać z faktu, iż pory zostały wypełnione produktami reakcji pucolanowej [16].

Zaprawy zawierające 10% i 20% popiołu z osadów ściekowych miały niższą wytrzymałość na ściskanie niż zaprawa z cementu portlandzkiego. Różnice w wytrzymałości spowodowane są spowolnieniem reakcji pucolanowej m.in. ze względu na zawartość

w popiele z osadów ściekowych związków fosforu [10]. Zaprawy z dodatkiem 10% i 20% lotnego popiołu krzemionkowego miały niższą wytrzymałość po 28 dniach dojrzewania, natomiast po 90 dniach osiągnęły wyższą wytrzymałość.

6. Wnioski

1. Podwyższona trwałość zapraw z dodatkiem popiołów: lotnego krzemionkowego oraz z utylizacji osadów ściekowych jest spowodowana przede wszystkim z odpowiedniej mikrostruktury tych zapraw, a także uzyskania określonych wytrzymałości na ściskanie, porównywalnych z zaprawami wykonanymi z cementu portlandzkiego.
2. Wpływ popiołu lotnego krzemionkowego i popiołu z osadów ściekowych na właściwości świeżych zapraw wynika z budowy ziaren obu popiołów. Popiół krzemionkowy poprawia urabialność mieszanki, a dodatek popiołu z osadów ściekowych zmniejsza.
3. Przyrost wytrzymałości zapraw z cementu zawierającego 10 % i 20% popiołu z utylizacji osadów ściekowych był powolniejszy niż zaprawy z cementu portlandzkiego. Przyrost wytrzymałości między 28 a 90 dniem zaprawy z dodatkiem popiołu krzemionkowego był większy niż zaprawy popiołem z osadów ściekowych.
4. Niska zawartość metali oraz odpowiednia aktywność pucolanowa popiołu z osadów ściekowych pozwala na wykorzystanie go do zapraw i betonów w ilości nieprzekraczającej 20%.

Literatura

1. Giergiczny Z. *Popiół lotny składnikiem betonu – normalizacja i praktyka*. Budownictwo Technologie Architektura, styczeń – marzec 2009.
2. PN-EN 450-1:2009 +A1 2009 *Popiół lotny do betonu- część 1, Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności*.
3. PN-EN 197-1:2012 *Cement – Część 1:Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*.
4. Smol M., Kulczycka J., Henclik A., Gorazda K., Wzorek Z., 2015, *The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy*, Journal of Cleaner Production, 95,45-54.
5. Kurdowski W., *Chemia cementu i betonu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
6. Neville A.M. *Właściwości betonu*. Polski Cement, Kraków 2012.
7. Zapotoczna-Sytek G. Łaskawiec K., Gębarowski K., Małolepszy P., Szymczak J., *Popioły lotne nowej generacji do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego*, Warszawa 2013.
8. Giergiczny Z. *Popiół lotny w składzie cementu i betonu*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2013.
9. Kosior-Kazberuk M. Karwowska J., *Wybrane problemy zagospodarowania popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych w technologii materiałów cementowych*, Inżynieria Ekologiczna Nr 25,2011.
10. Kosior-Kazberuk M., *Nowe dodatki mineralne do betonu*. Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2/2011.
11. Lynn C.J, Dhir R. K., Ghataora G.S., West R. P., *Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete*, Construction and Building Material, 98, 767-779, 2015.
12. Małolepszy J., Tkaczewska E., *Wpływ popiołów lotnych ze współspalania węgla kamiennego i biomasy na proces hydratacji i właściwości cementu*. Materiały konferencji Dni Betonu. Wiśła 2006, 591-601.
13. PN-EN 1015-3:2000 *Metody badań zapraw do murów - Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplywu)*.

14. PN-EN 12350-7:2011 *Badania mieszanki betonowej - Część 7: Badanie zawartości powietrza - Metody ciśnieniowe.*
15. PN-EN 196-1:2006 *Metody badania cementu -- Część 1: Oznaczanie wytrzymałości.*
16. Giergiczny Z., *Właściwości popiołu lotnego a trwałość betonu*, Budownictwo Technologie Architektura, lipiec-wrzesień 2007.

Properties of cement mortars modified by selected ashes

Monika Bała, Monika Łukawska, Wojciech Piasta

*Kielce University of Technology, Department of Civil Engineering and Architecture,
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314, Kielce, Poland,
e-mail: monika.bala91@gmail.com, monikalukawska@interia.pl, wpiasta@tu.kielce.pl*

Abstract: The article presents the results of chemical composition and selected properties of the fly ash (FA) and sewage sludge ash (SSA) from the disposal of sewage sludge. The results of research on sewage sludge ash (SSA) and fly ash (FA) and the effect of these ashes on properties of fresh pastes have been presented. By means of XRD analysis, the occurrence of crystalline materials was detected. By means of SEM the morphology of ashes and cement pastes with ashes was investigated. The phase of the C-S-H mortars with addition of sewage sludge ash and fly ash is fairly compact. They performed the testing of compressive strength of mortars after 28 and 90 days of maturation.

Keywords: sewage sludge ash, fly ash, chemical and mineral composition, micro-structure of mortars, compressive strength.