

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 19**  
(październik–grudzień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VII

Warszawa–Opole 2014

---

MAREK GAWLICKI\*  
ZUZANNA GRAUR\*\*  
EWELINA ŚLĘZAK\*\*\*

## Popioły lotne ze spalania biomasy jako składnik spoiw drogowych

**Słowa kluczowe:** spoiwa drogowe, popioły lotne, biopaliwa.

Celem artykułu jest wstępna ocena przydatności popiołów lotnych z kotłów fluidalnych opalanych biomasą jako składników spoiw, które mogą być wykorzystane w budownictwie drogowym. W pracy oznaczono skład chemiczny i fazowy oraz uziarnienie popiołów, a także opisano ich morfologię (E-SEM/EDS). Zbadano cechy użytkowe spoiw stanowiących mieszaniny popiołu lotnego z biopaliwa i cementu portlandzkiego oraz popiołu lotnego i wapna palonego. Oznaczono wymywalność metali ciężkich ze zhydratyzowanych spoiw (ICP-MS). Stwierdzono, że spoiwa, w których zawartość popiołów lotnych stanowi 70–90% ich masy mogą być wykorzystane do ulepszania i stabilizacji gruntów spoistych.

### 1. Wprowadzenie

Przeobrażenia zachodzące w ostatnich latach w polskiej energetyce zawodowej obejmują między innymi zmiany sposobów spalania tradycyjnych paliw stałych: węgla kamiennego i węgla brunatnego w wyniku budowy kotłów dużej mocy, w których spalanie prowadzone jest w złożu fluidalnym, jak i zastępowanie paliw kopalnych paliwami odnawialnymi – biopaliwami. Jako biopaliwa w Polsce są stosowane głównie różnego rodzaju odpady drzewne (między innymi zrębki, trociny i kora), drewno pozyskiwane ze specjalistycznych upraw (wierzba energetyczna) oraz odpady pochodzenia rolniczego (paliwa „agro”), przede wszystkim odpowiednio przygotowana słoma (pelety). W mniejszych ilościach są wy-

---

\* Dr hab. inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, m.gawlicki@icimb.pl

\*\* Mgr inż., Dyckerhoff Polska, Cementownia Nowiny Sp. z o.o. Sitkówka-Nowiny, Zuzanna.Graur@dyckerhoff.com

\*\*\* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, e.slezak@icimb.pl

korzystywane również różnego rodzaju odpady przemysłu spożywczego, w tym także odpady kostne oraz odpady z papierni i osady ściekowe. Poza surowcami krajowymi w kotłach polskich elektrowni i elektrociepłowni spalane są również biopaliwa pochodzące z importu. Spośród tych ostatnich w największych ilościach wykorzystywane są rozkruszone pestki owoców palmy olejowej (*Palm Kernel Shell*), określane zwyczajowo jako PKS.

Całkowita produkcja energii wytwarzanej w wyniku spalania biopaliw wynosiła w Polsce w 2011 r. 3,953 TWh, z czego ok. 80% uzyskano w kotłach, w których współspalano węgiel i biopaliwa [1]. Niedogodności techniczne i trudności eksploatacyjne tak zasilanych instalacji kotłowych stały się przyczyną budowy „zielonych kotłów”, w których w złożu fluidalnym spalane są wyłącznie biopaliwa. W rezultacie, w Polsce w ostatnich trzech latach pojawiły się w większych ilościach nowe rodzaje ubocznych produktów spalania (UPS), na które składają się inne niż dotychczas popioły lotne oraz odpady denne. Odmienny skład chemiczny i skład fazowy UPS biopaliw oraz ubocznych produktów spalania węgla kamiennego i węgla brunatnego utrudnia proste przenoszenie doświadczeń zdobytych w zagospodarowaniu konwencjonalnych popiołów lotnych na działania, których celem jest racjonalne wykorzystanie UPS biopaliw. Większość ubocznych produktów spalania biopaliw jest obecnie deponowana na składowiskach. Liczba publikacji omawiających pozarolnicze wykorzystanie UPS biopaliw jest niewielka, zwłaszcza gdy dotyczy to możliwości zastosowania ich w dużych ilościach [2–3]. Rozwiązanie problemu zagospodarowania omawianych odpadów komplikuje zróżnicowanie składu UPS, a tym samym właściwości użytkowych, uzależnionych w bardzo dużym stopniu od rodzaju stosowanego biopaliwa.

W tabeli 1 podano przykłady zawartości wybranych tlenków w popiołach kilku odpadów, które mogą być wykorzystane jako biopaliwa w kotłach fluidalnych [4–6].

Tabela 1

Przykłady zawartości podstawowych tlenków  
w popiołach materiałów wykorzystywanych jako biopaliwo [4–6]

Spalany materiał	Źródło	Zawartość tlenku w popiele [% mas.]								
		CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
Trociny sosnowe	4	3,70	0,81	1,50	0,28	2,24	87,83	1,73	0,69	0,10
Zrębki bukowe	4	29,60	3,67	2,14	0,35	10,27	30,47	3,63	2,68	0,22
Wierzba energetyczna	4	48,51	4,28	2,29	0,63	9,28	20,70	3,82	6,43	0,16
Słoma	4	8,10	7,20	0,20	0,50	32,00	50,00	0,30	1,50	0,20
PKS	5	7,26	4,69	3,69	0,56	9,16	64,11	5,03	n. oz.	n. oz.
Łuski nasion słonecznika	6	13,60	14,00	0,71	0,05	47,20	2,95	0,83	14,20	0,06
Osady ściekowe	4	13,90	2,80	24,60	4,90	2,20	22,40	9,00	19,30	0,90
Mączka kostna	4	18,81	0,27	0,85	2,94	1,12	5,96	0,00	70,05	0,00

W przemysłowych kotłach fluidalnych spalane są zazwyczaj mieszaniny różnych rodzajów biopaliw, a skład chemiczny UPS różni się od składu popiołów podanych w tabeli 1, gdyż do komór paleniskowych poza biopaliwem wprowadzane są piasek kwarcowy oraz dodatki ograniczające tworzenie się szkodliwych napieków w instalacjach kotłowych. Powoduje to wzbogacenie UPS głównie w  $\text{SiO}_2$  i siarczany. Należy zaznaczyć, że w instalacjach kotłowych spalających wyłącznie biopaliwa nie prowadzi się odsiarczania spalin, a tworzące się w nich UPS nie stanowią obecnie przedmiotu norm krajowych, ani też norm europejskich.

Celem pracy jest dokonanie wstępnej oceny przydatności popiołów lotnych pochodzących z kotłów fluidalnych opalanych mieszaniną biomasy drzewnej i PKS, jako składnika „rodziny” spoiw, które w zależności od rodzaju i zawartości poszczególnych składników mogą być wykorzystane do ulepszania i stabilizacji gruntów oraz do wykonywania podbudów drogowych.

## 2. Charakterystyka materiałów użytych do wytwarzania spoiw

Do przygotowania spoiw stanowiących przedmiot badań wykorzystano popiół lotny z kotła fluidalnego ze spalania biopaliwa, którego podstawowym składnikiem była biomasa drzewna, cement portlandzki CEM I 42,5R oraz wapno palone. Skład chemiczny wymienionych materiałów podano w tabeli 2.

Tabela 2

Skład chemiczny materiałów użytych do przygotowania spoiw

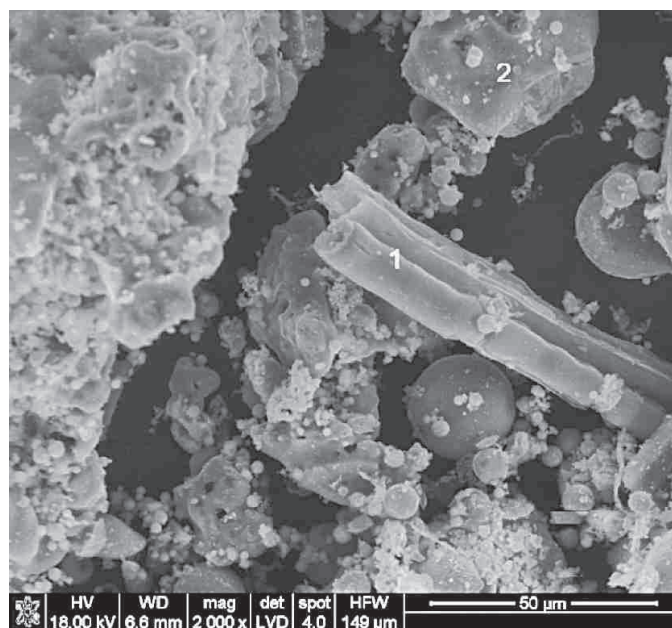
Składnik	Zawartość [% mas.]		
	popiół lotny ze spalania biomasy	cement portlandzki CEM I 42,5R	wapno palone
Strata prażenia	4,76	3,85	2,67
$\text{SiO}_2$	68,21	19,17	1,98
$\text{SO}_3$	1,13	2,76	0,04
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,73	3,10	1,11
$\text{Al}_2\text{O}_3$	6,29	5,20	0,46
CaO	10,22	63,10	90,92
MgO	1,57	1,20	2,80
$\text{Na}_2\text{O}$	0,17	0,15	–
$\text{K}_2\text{O}$	0,73	0,90	–
$\text{TiO}_2$	0,01	0,17	–
$\text{CaO}_w$	1,84	1,05	–
$\text{P}_2\text{O}_5$	2,19	–	–

Źródło: Badania własne.

Poza analizą składu chemicznego materiałów wyjściowych i oznaczeniami niezwiązanego tlenku wapnia w popiele i cemencie, wykonano również oznaczenia składu fazowego popiołu lotnego metodą XRD oraz przeprowadzono obserwacje mikroskopowe E-SEM popiołu, dokonując równocześnie badań składu chemicznego wybranych jego ziaren w mikroobszarach (EDS).

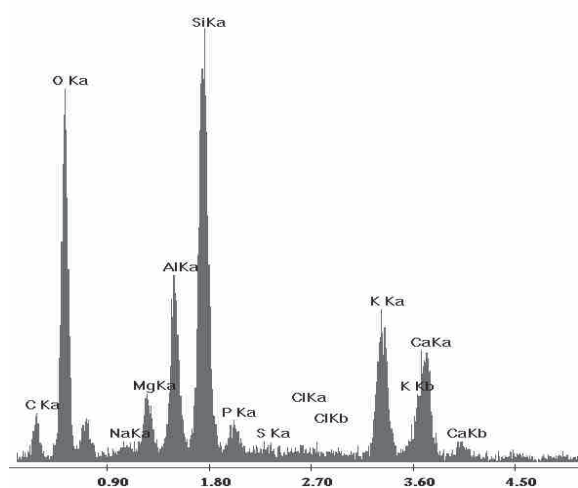
Badania XRD wykazały, że dominującą fazą krystaliczną w analizowanym popiele jest  $\beta$ -kwarc. W niewielkich ilościach występuje tlenek wapnia oraz kalcyt, anhydryt i peryklaz. Obecny jest prawdopodobnie również spinel żelazowo-glinowy – hercynit  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ . Podwyższenie tła dyfraktogramu w zakresie kątów ugięcia  $25\text{--}40^\circ 2\Theta \text{ CuK}\alpha$  wskazuje, że poza fazami krystalicznymi w popiele występuje także materiał amorficzny.

Wyniki obserwacji popiołu lotnego, dokonanych przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego z regulowaną próżnią (E-SEM) oraz rezultaty analiz EDS, wskazują na znaczne zróżnicowanie wielkości i kształtów cząstek popiołu, a także odmienny skład chemiczny poszczególnych ziaren. Należy podkreślić znaczące różnice obrazów mikroskopowych popiołów z kotłów fluidalnych opalanych węglem a zdjęciami E-SEM popiołów ze spalania biopaliwa w kotłach fluidalnych. Otóż w popiołach z biopaliw często są obserwowane obok ziaren o nieregularnych kształtach również ziarna kuliste, niewystępujące w popiołach z kotłów fluidalnych, w których spalane są paliwa kopalne. Obecność ziaren kulistych w popiele z biopaliw świadczy o występowaniu w nim fazy szklistej. Poniżej (ryc. 1 i 2), jako przykład, przedstawiono zdjęcia E-SEM badanego popiołu lotnego z biomasy oraz wyniki analizy EDS w punktach zaznaczonych na tych zdjęciach.

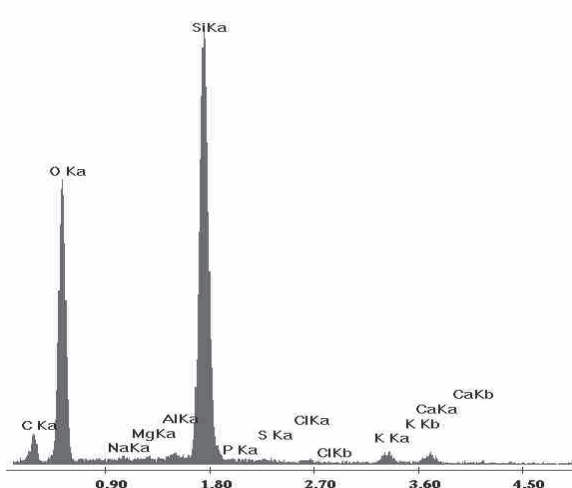


Źródło: Badania własne.

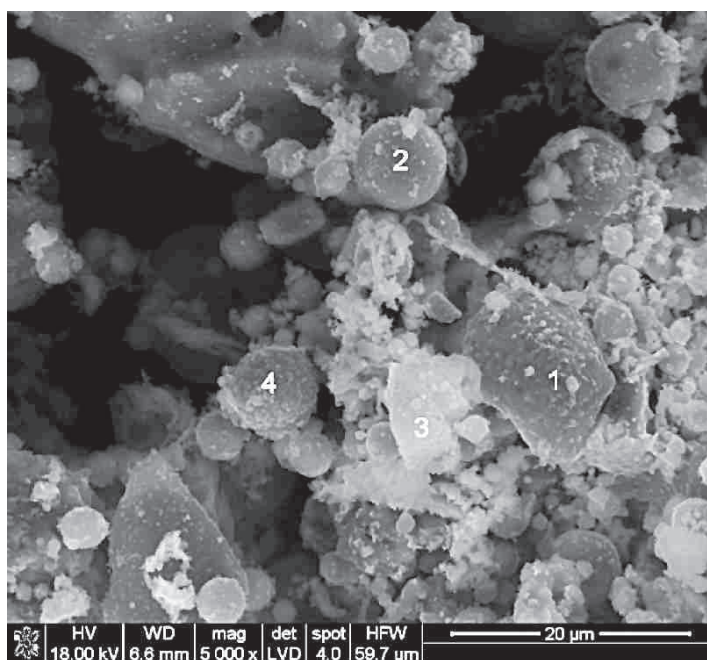
Ryc.1. E-SEM. Popiół fluidalny ze spalania biomasy (powiększenie  $2000\times$ )



Ryc. 1a. Wyniki analizy EDS  
w punkcie 1

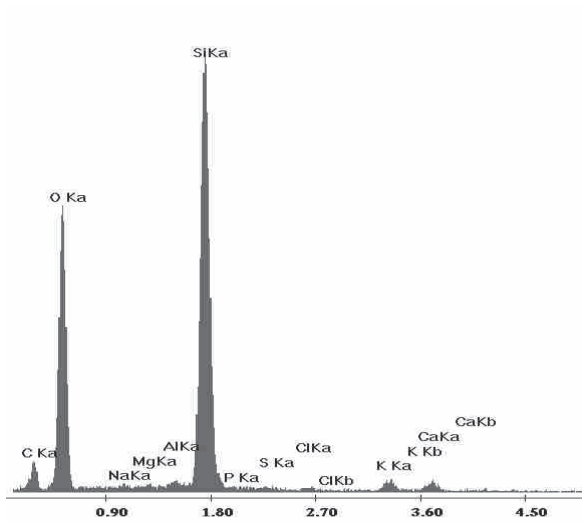


Ryc. 1b. Wyniki analizy EDS  
w punkcie 2

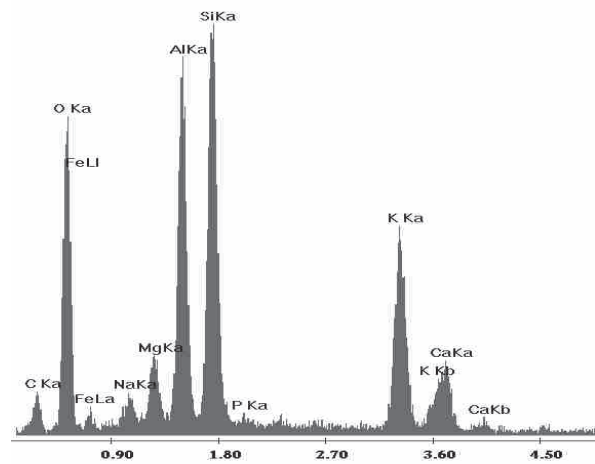


Źródło: Badania własne.

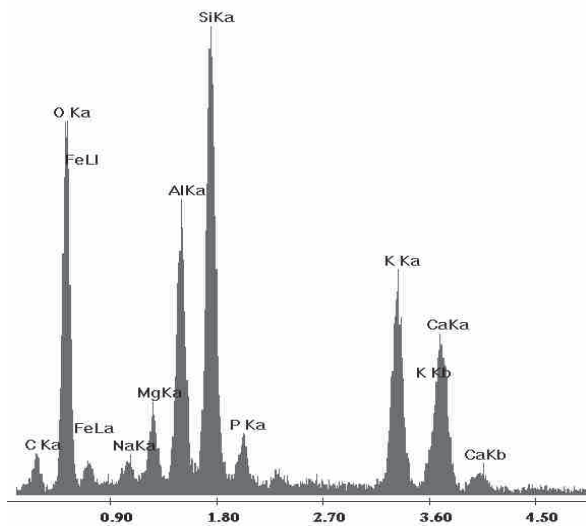
Ryc. 2. E-SEM. Popiół fluidalny ze spalania biomasy  
(powiększenie 5000×)



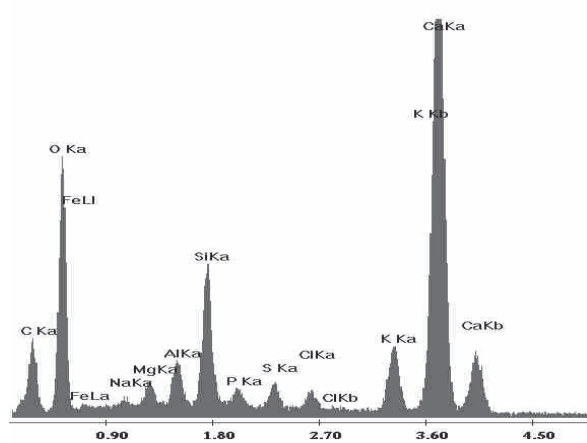
Ryc. 2a. Wyniki analizy EDS w punkcie 1



Ryc. 2b. Wyniki analizy EDS w punkcie 2

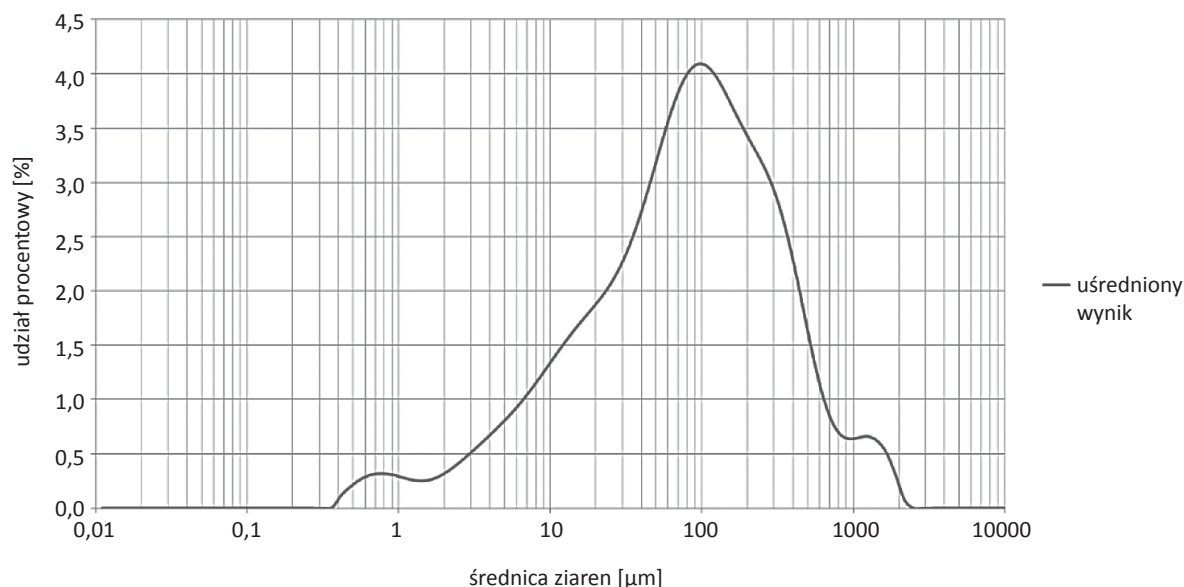


Ryc. 2c. Wyniki analizy EDS w punkcie 3



Ryc. 2d. Wyniki analizy EDS w punkcie 4

Analiza składu ziarnowego popiołu lotnego z biopaliwa wykonana przy użyciu granulometru laserowego wykazała, że zawiera on stosunkowo dużo ziaren o wymiarach większych niż 100  $\mu\text{m}$ . Krzywą rozdziału ziarnowego badanego popiołu przedstawiono na rycinie 3.



Źródło: Badania własne.

Rys. 3. Składu ziarnowy popiołu lotnego z biopaliwa spalanego w kotle fluidalnym

Cement użyty w badaniach był komercyjnym cementem portlandzkim CEM I 42,5R, spełniającym wymagania PN-EN 197-1:2012. Początek czasu wiązania cementu zaznaczał się po 120 min. Po 2 dniach zaprawa normowa osiągnęła wytrzymałość na ściskanie 27,5 MPa, zaś po 28 dniach – 55,5 MPa. Wapno palone CL było również produktem komercyjnym. Było wapnem o średniej aktywności, spełniającym wymagania PN-EN 459-1:2012.

### 3. Wyniki badań spoiw

Przedmiot badań stanowiły spoiwa będące homogenicznymi mieszaninami cementu portlandzkiego i popiołu z biopaliwa (spoiwa 1–3) oraz mieszaninami wapna palonego i popiołu (spoiwa 6–8). Jako materiały odniesienia użyto cementu portlandzkiego CEM I 42,5R oraz wapna palonego CL. Składy spoiw przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Skład badanych spoiw

Lp.	Oznaczenie spoiwa*	Zawartość składników w spoiwie [% mas.]		
		popiół lotny ze spalania biomasy	cement portlandzki CEM I 42,5R	wapno palone
1	C10P90	10	90	–
2	C20P80	20	80	–
3	C30P70	30	70	–
4	P100	–	100	–
5	C100	100	–	–



cd. tab. 3

Lp.	Oznaczenie spoiwa*	Zawartość składników w spoiwie [% mas.]		
		popiół lotny ze spalania biomasy	cement portlandzki CEM I 42,5R	wapno palone
6	W10P90	-	90	10
7	W20P80	-	80	20
8	W30P70	-	70	30

\* - C - cement portlandzki CEM I 42,5R, P - popiół lotny ze spalania biomasy w kotle fluidalnym, W - wapno palone.

Źródło: Badania własne.

Badania cech użytkowych spoiw obejmowały oznaczenia czasu początku ich wiązania (PN-EN 196-3+A1:2011), stałości objętości oraz wytrzymałości na ściskanie przygotowanych z nich zapraw (PN-EN 196-1:2006). Ponieważ składniki analizowanych spoiw znacznie różnią się wodożądnością, próbki zapraw do badań wytrzymałościowych przygotowano w ten sposób, aby zachowany został w nich niestały współczynnik w/s (stosunek masy wody do masy spoiwa), jak wymaga tego PN-EN 196-1:2006, lecz zachowując stały rozplływ zapraw (170 mm) oznaczony zgodnie z PN-EN 1015-3:2000/A1:2005. Wyniki oznaczeń cech użytkowych spoiw podano w tabeli 4.

Tabela 4

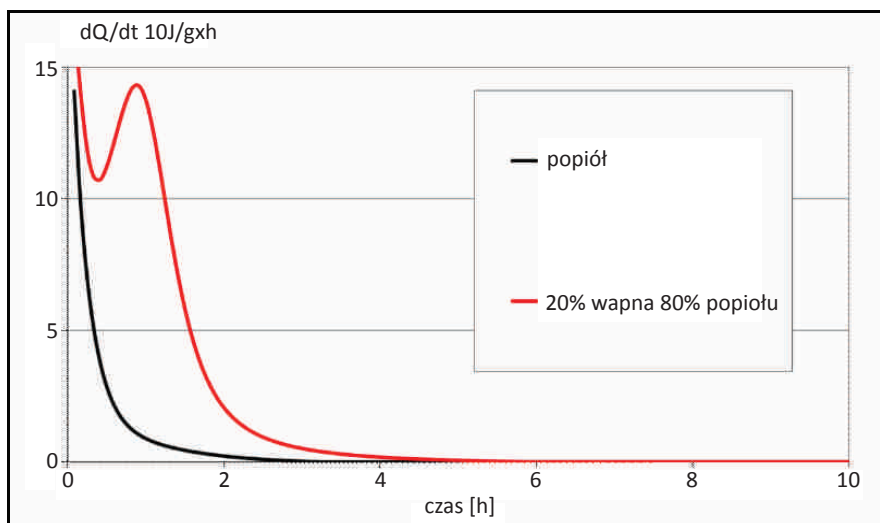
*Cechy użytkowe badanych spoiw*

Lp.	Oznaczenie spoiwa	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Początek czasu wiązania [min]	Stażność objętości [mm]
		po 7 dniach	po 14 dniach	po 28 dniach		
1	C10P90	1,55	2,34	3,60	432	2,0
2	C20P80	2,93	4,39	6,00	363	2,0
3	C30P70	5,00	6,58	8,08	294	1,5
4	P100	0,52	1,21	1,60	1320	2,0
5	C100	32,98	37,45	55,5	120	1,5
6	W10P90	0,40	0,81	1,46	25	-
7	W20P80	0,45	0,65	1,36	16	-
8	W30P70	0,48	0,76	1,29	10	-

Źródło: Badania własne.

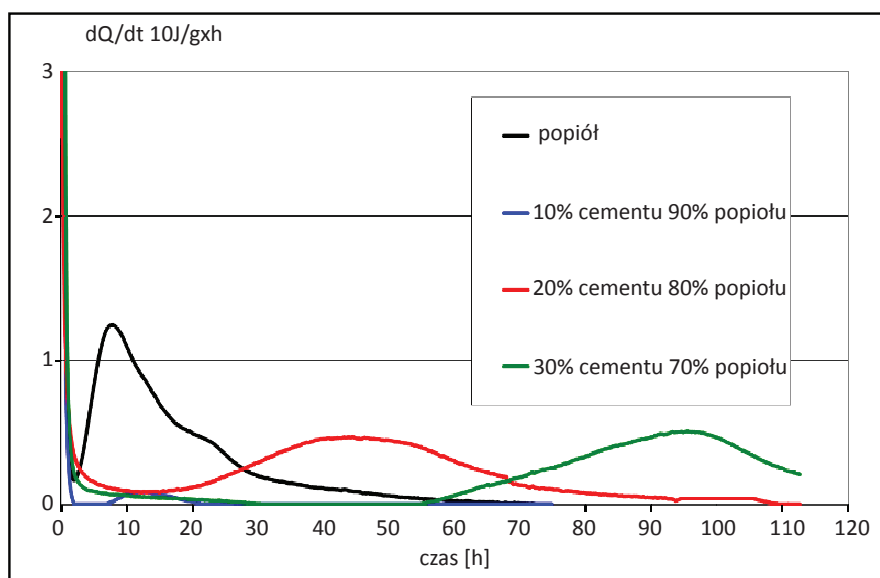
Określono również kinetykę wydzielania się ciepła w badanych układach oraz wymywalność metali ciężkich zawartych w spoiwach.

Pomiary ciepła hydratacji spoiw wykonane zostały w różnicowym mikrokalorymetrze semiadiabatycznym. Naważka spoiwa wynosiła każdorazowo pięć gramów, zaś współczynnik w/s = 0,5. Wyniki badań – krzywe szybkości wydzielania ciepła w układach spoiwa–woda, przedstawiono na rycinach 4 i 5.



Ź r ó d ł o: Badania własne.

Ryc. 4. Krzywe szybkości wydzielania się ciepła hydratacji popiołu fluidalnego ze spalania biomasy oraz spoiwa drogowego W20P80



Ź r ó d ł o: Badania własne.

Ryc. 5. Krzywe szybkości wydzielania się ciepła hydratacji spoiw popiołowo-cementowych

Na krzywej kalometrycznej zarejestrowanej w układzie popiół lotny z biopaliwa-woda (ryc. 4) zaznacza się jedynie egzotermiczny efekt związany z chemisorpcją wody na ziarnach popiołu. Wprowadzenie do badanego układu wapna palonego zmienia charakter zależności  $dQ/dt = f(t)$  w badanym układzie. Na krzywej kalometrycznej uwidacznia się bardzo silny efekt związany z dużą ilością ciepła, wydzielającą się w wyniku reakcji tlenku wapnia z wodą. Jako przykład na rycinie 4 przedstawiono krzywą kalometryczną spoiwa W20P80.

Wzrost zawartości popiołu lotnego w spoiwach popiołowo-cementowych powoduje duże zmiany szybkość wydzielania się ciepła podczas hydratacji spoiwa i ograniczenie jego ilości. W sposób znaczący wydłuża się okres indukcji hydratacji spoiw popiołowo-cementowych (ryc. 5).

Badania ługowalności metali ciężkich z analizowanych spoiw wykonano metodą TANK. Próbkę zapraw o wymiarach  $4 \times 4 \times 16$  cm przygotowane ze spoiw, zgodnie z PN-EN 196-1:2006, umieszczono po 24 h twardnienia na polietylenowych rusztach w oddzielnych, szczelnie zamykanych pojemnikach, do których wprowadzono wodą redestylowaną. Objętość wody była dziesięciokrotnie większa od objętości próbek. Eluaty do oznaczeń pobrano po 28 dniach dojrzewania próbek w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ . Oznaczenia zawartości metali ciężkich w eluatach wykonano metodą spektroskopii masowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-MS). Wyniki oznaczeń podano w tabeli 5.

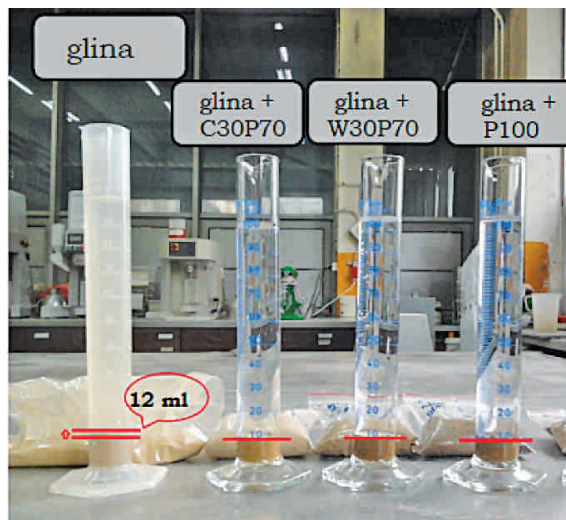
Tabela 5

*Wymywalność metali ciężkich z badanych spoiw*

Oznaczany pierwiastek	Zawartość pierwiastka w wyciągu wodnym [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]							
	C10P90	C20P80	C30P70	P100	C100	W10P90	W20P80	W30P70
Cr	0,0061	0,0072	0,0096	0,0047	0,0261	0,0031	0,0033	0,0041
Mn	0,0004	0,0005	0,0005	0,0003	0,0012	0,0003	0,0002	0,0002
Co	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001
Ni	0,0004	0,0007	0,0009	0,0003	0,0019	0,0002	0,0002	0,0002
Cu	0,0048	0,0055	0,0053	0,0034	0,0146	0,0022	0,0025	0,0030
Zn	0,0008	0,0006	0,0008	0,0008	0,0009	0,0007	0,0007	0,0006
As	0,0002	0,0002	0,0007	0,0001	0,0024	0,0001	0,0001	0,0001
Cd	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Tl	0,0001	0,0001	0,0002	< 0,0001	0,0004	0,0001	0,0001	< 0,0001
Pb	0,0004	0,0003	0,0004	0,0002	0,0006	0,0002	0,0002	0,0001

Źródło: Badania własne.

Poza opisanymi wyżej badaniami, przeprowadzono także test, którego zadaniem była ocena wpływu badanych materiałów na pęcznienie gruntów spoistych w wyniku wnikania do nich wody. Do badań użyto gruntu spoistego o wskaźniku plastyczności  $P_{\text{AW}} = 15$  (głina klasy II). Test wykonano w sposób następujący: do szklanych cylindrów miarowych wlewo po  $100 \text{ cm}^3$  wody. Następnie, do kolejnych cylindrów, małymi porcjami wprowadzono rozdrobnioną i wysuszoną glinę, mieszanke gliny i spoiwa C30P70/90, mieszanke gliny i spoiwa W30P70 oraz mieszanke gliny i popiołu lotnego z biomasy, doprowadzając do wzrostu objętości początkowej o  $10 \text{ cm}^3$ . Każda z mieszanek zawierała 90% gliny. Po upływie 24 godzin dokonano pomiarów zmian objętości zawiesin (ryc. 6).



Ź r ó d ł o: Badania własne.

Rys. 6. Stanowisko do oceny wpływu spoiw na pęcznienie gruntów spoistych

Objętości zawiesin zawierających mieszanki gliny i spoiw W30P70, C30P70 oraz popiołu fluidalnego z biomasy nie uległy zmianom. Stwierdzono natomiast wzrost objętości o  $2 \text{ cm}^3$  zawiesiny gliny, do której nie wprowadzono żadnego z badanych materiałów.

## 4. Podsumowanie wyników badań

Badania wykazały, że popioły lotne otrzymywane w wyniku spalania biopaliw w kotłach fluidalnych mogą być traktowane jako potencjalny składnik spoiw przeznaczonych dla drogownictwa. Bardzo duże zróżnicowanie składów chemicznych popiołów z biopaliw (tab. 1) wymaga jednak szczególnej ostrożności i zgromadzenie dostatecznie dużej liczby informacji o tego rodzaju popiołach przed podjęciem decyzji o kierunkach ich zastosowania. Należy podkreślić znaczące różnice pomiędzy popiołami lotnymi z kotłów fluidalnych, w których spalane są wyłącznie biopaliwa a popiołami lotnymi z kotłów fluidalnych, w których spalane są paliwa kopalne lub ich mieszanki z biopaliwami. Popioły lotne z biopaliw zawierają znacznie mniej siarczanu (VI) wapnia, co eliminuje zagrożenia trwałości przygotowanych z nich zapraw, wynikające z możliwości tworzenia się nadmiernych ilości „późnego” ettringitu. Potencjalnym zagrożeniem dla narastania wytrzymałości spoiw zawierających popioły lotne z biopaliw mogą być natomiast występujące w nich związki fosforu.

Analizowane popioły lotne z biopaliwa wykazały niewielką aktywność hydrauliczną i wiązały bardzo wolno (tab. 4). Znaczące przyrosty wytrzymałości i skrócenie czasu wiązania osiągnięto natomiast dodając do popiołów cement portlandzki. Wytrzymałości zapraw przygotowanych ze spoiw popiołowo-ce-

mentowych były tym większe, im wyższa była w nich zawartość cementu. Wraz ze wzrostem zawartości cementu w spoiwie narastała również ilość wydzielającego się ciepła oraz skracał się okres indukcji hydratacji (ryc. 5). Zawartość cementu portlandzkiego w spoiwach popiołowo-cementowych ukierunkowuje ich zastosowanie. Spoiwa zawierające 20 i więcej procent cementu mogą być użyte do wykonywania podbudów drogowych. Spoiwa o mniejszej zawartości CEM I oraz popioły lotne z biomasy bez dodatków należy wykorzystać do uzdatniania i stabilizacji gruntów.

Wprowadzenie do popiołów lotnych z biopaliwa wapna palonego spowodowało nieznaczne obniżenia wytrzymałości zapraw na ściskanie. Oznaczany zgodnie z wymaganiami PN-EN 196-3+A1:2011 bardzo krótki czas początku wiązania spoiw popiołowych, do których wprowadzono 10%, 20% i 30% wapna palonego był rezultatem nie tyle wiązania spoiwa, co utraty plastyczności zaczynu spoiwowego w wyniku silnie egzotermicznej reakcji tlenku wapnia z wodą. Niewielkie wytrzymałości zapraw sugerują, że tego rodzaju zaprawy powinny być stosowane do stabilizacji gruntów spoistych. Możliwości takiego rodzaju zastosowania spoiw popiołowo-wapiennych potwierdzone zostały przez wyniki przeprowadzonego testu.

Wyniki badań wymywania metali ciężkich z zapraw wykonanych z badanych spoiw wskazują na duże zdolności immobilizacyjne popiołów lotnych z biopaliw, które, co należy podkreślić, zawierają znacznie mniej metali ciężkich niż popioły z paliw kopalnych.

## Literatura

- [1] „Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki” 2012, nr 2.
- [2] P o l u s z y ń s k a J., *Możliwości zastosowania popiołów ze spalania biomasy w gospodarowaniu osadami ściekowymi*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2013, nr 13, s. 49–59.
- [3] R a j c z y k K., G i e r g i c z n y E., S z o t a M., *Ocena możliwości wykorzystania w drogownictwie popiołów nowej generacji powstających ze spalania biomasy*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2013, nr 12, s. 72–87.
- [4] G a w l i c k i M., G a l o s K., S z l u g a j J., *Mineralne surowce odpadowe z elektrowni, elektrociepłowni i ciepłowni*, [w:] *Surowce mineralne Polski. Mineralne surowce odpadowe*, red. R. Ney, Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków 2009, s. 139–209.
- [5] J a t u r a p i t a k k u l C., K i a t t i k o m o l K., T a n g c h i r a p o t W., S a e t i n g T., *Evaluation of the sulphate resistance of concrete containing palm oil fuel ash*, „Construction and Building Materials” 2007, Vol. 21, s. 1399–1405.
- [6] Z g g a r l i c k e Ch.J., F l a k e d a h a l B.C., *Effects biomass bleding on combustion ash*, „Prepr. Pap. Am. Chem. Soc. Div. Fuel. Chem.” 2003, Vol. 48 No. 2, s. 641–642.

*MAREK GAWLICKI  
ZUZANNA GRAUR  
EWELINA ŚLĘZAK*

FLY ASH FROM THE BIOMASS COMBUSTION  
AS A COMPONENT OF ROAD BINDING MATERIALS

**Keywords:** road binding materials, fly ash, biofuels.]

The experiments aimed in the assessment of the fly ash generated in biomass fed fluidized bed combustion installations used as a component of road binding materials. The chemical and phase composition, as well as the fineness of fly ash was characterized. The morphology of fly ash was studied under ESEM with EDS microanalysis. The mixtures composed of fly ash and Portland cement or fly ash and lime were produced and their standard properties were examined. The leaching of heavy metals from the hardened materials was determined using the ICP-MS technique. It has been found that the fly ash from the biomass fed fluidized bed combustion, constituting 70-90% of binder, plays a role of cohesive soil stabilization and modification agent.