

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

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

---

**Nr 11**

ISSN 1899-3230

**Rok V**

**Warszawa–Opole 2012**

---

*WOJCIECH ROSZCZYŃIAŁSKI (JR)\**  
*PIOTR STĘPIEŃ\*\**  
*KAMIL BOGUSZ\*\*\**  
*WOJCIECH ROSZCZYŃIAŁSKI\*\*\*\**

## **Uboczne produkty spalania jako podstawowe składniki spoiw hydraulicznych dla drogownictwa**

**Słowa kluczowe:** spoiwa hydrauliczne, spoiwa dla drogownictwa, uboczne produkty spalania, popioły fluidalne, popioły lotne.

W budownictwie drogowym coraz większym zainteresowaniem cieszą się materiały o charakterze odpadowym, przede wszystkim pochodzące z energetyki uboczne produkty spalania (UPS). Ich zastosowanie pozwala nie tylko na osiągnięcie efektów środowiskowych i ekonomicznych, ale również umożliwia uzyskanie konstrukcji drogowych o dobrych parametrach użytkowych. W pracy wykorzystano uboczne produkty spalania pochodzące z dwóch elektrowni – spalającej węgiel brunatny Elektrowni „Turów” oraz spalającej węgiel kamienny Elektrowni „Połaniec”. Celem pracy było zastosowanie wymienionych UPS, także w postaci uszlachetnionej poprzez ich separację ziarnową, jako podstawowych składników spoiw hydraulicznych. Wykonano wiele mieszanek spoiwowych, dla których oznaczono podstawowe własności fizyczne (właściwą ilość wody, czasy wiązania, stałość objętości) i wytrzymałościowe. Wytypowane na podstawie uzyskanych wyników badań mieszanki zastosowano w charakterze spoiw do stabilizacji gruntu oraz spoiw do wykonywania chudych betonów dla podbudowy drogowej.

### **1. Wstęp**

Szybki rozwój energetyki zawodowej po roku 1920, opartej przede wszystkim na spalaniu węgla, spowodował otrzymywanie na szeroką skalę ubocznych produktów spalania, w tym głównie popiołów lotnych. Obecny, roczny przychód

---

\* Mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

\*\* Mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

\*\*\* Mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

\*\*\*\* Dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

ubocznych produktów spalania węgla przekracza na świecie 600 mln t, z czego 75–80%, to jest ok. 500 mln t, stanowią popioły lotne [1]. Konieczność składowania popiołów lotnych stanowi poważny problem ekologiczny i finansowy, stąd też od wielu dziesięcioleci rozwijają się różnego rodzaju technologie, mające na celu ich racjonalne wykorzystanie. Jest to tym bardziej uzasadnione, że wielkość zasobów popiołów lotnych daje im dziś 5. miejsce wśród wszystkich możliwych do pozyskania zasobów surowcowych [2]. Niemniej stopień właściwego spożytkowania popiołów lotnych jest ciągle wysoce niewystarczający. Na koniec XX w. wynosił on w różnych krajach od 3 do 57%, a średnio w skali globalnej tylko 16% [3].

Możliwość wykorzystania dużych ilości popiołów lotnych dają przede wszystkim aplikacje związane z budownictwem i przemysłem materiałów budowlanych oraz z drogownictwem. Aktualnie, w dobie dużego zróżnicowania ubocznych produktów spalania (pojawienie się obok konwencjonalnych popiołów lotnych, popiołów otrzymywanych przy spalaniu wraz z węglem różnego rodzaju paliw alternatywnych oraz popiołów fluidalnych), szczególnie atrakcyjne mogą być rozwiązania pozwalające na ich stosowanie przy budowie dróg i autostrad. W przeciwieństwie do takich krajów jak Anglia czy Francja, gdzie w drogownictwie popioły lotne wykorzystywano na dużą skalę już od połowy XX w. [4], w Polsce ograniczano się jedynie do utylizacji żużli paleniskowych, rzadziej mieszanek żużlowo-popiołowych, które stosowano głównie do budowy nasypów i wykonywania podbudów drogowych [5–6]. Jeszcze w 2008 r., z puli otrzymanych w tym roku ponad 13 mln t, w drogownictwie znalazło zastosowanie jedynie 92 tys. t popiołów lotnych [7].

Tymczasem liczne badania, a także prowadzone na ich podstawie w warunkach polowych prace, świadczą o szerokiej gamie możliwości wykorzystania popiołów lotnych w drogownictwie. Popioły lotne wysokowapniowe typu W mogą z powodzeniem służyć do stabilizacji gruntów, zwłaszcza gruntów spoistych i podatnych na zmiany objętościowe, a także gruntów przewilgoconych oraz o podwyższonej zawartości związków organicznych [8–12]. Natomiast wszystkie popioły lotne, a także różne ich mieszaniny mogą być stosowane do wytwarzania hydraulicznych spoiw drogowych. Tego rodzaju spoiwa znajdują swoje wykorzystanie przy stabilizacji praktycznie wszystkich rodzajów gruntów, a ponadto przy wykonywaniu chudych betonów dla podbudów drogowych. Tak więc oparte na ubocznych produktach spalania spoiwa hydrauliczne pozwalają na zastosowanie w budownictwie komunikacyjnym różnych rodzajów popiołów lotnych, a jednocześnie dają możliwość ich dwukierunkowego wykorzystania przy pracach nad konstrukcją drogi [13–17].

Celem prezentowanej pracy było zaprojektowanie, wykonanie i poddanie badaniom wielu spoiw hydraulicznych opartych na ubocznych produktach spalania

i mogących znaleźć zastosowanie w drogownictwie. Dla wytypowanych spoiw przeprowadzono badania nad możliwością wykorzystania ich do stabilizacji gruntów oraz do wykonywania chudych betonów dla podbudowy drogowej.

## 2. Badania zaprojektowanych spoiw hydraulicznych

Pierwsza część pracy polegała na zaprojektowaniu, wykonaniu i poddaniu badaniom wielu spoiw opartych na ubocznych produktach spalania. Głównym przedmiotem zainteresowania było określenie własności spoiw, zawierających jako podstawowy składnik popiół fluidalny z Elektrowni „Turów”. Podjęte działania stanowiły rozszerzenie wcześniej przeprowadzonych badań nad możliwością wykorzystania samego popiołu fluidalnego z Elektrowni „Turów” w drogownictwie [18].

W recepturach zaprojektowanych mieszanek spoiwowych oprócz średniej próby popiołu fluidalnego zastosowano również jego rozseparowane frakcje: 0–30  $\mu\text{m}$  oraz powyżej 30  $\mu\text{m}$ . Miało to służyć ocenie celowości wykorzystywania w spoiwach hydraulicznych popiołu fluidalnego po jego odpowiednim rozfrakcjonowaniu. W recepturach niektórych spoiw, obok popiołu fluidalnego, przewidziano udziały innych materiałów odpadowych – konwencjonalnego popiołu lotnego z Elektrowni „Polańiec” oraz mielonego żużla stalowniczego z Huty „Katowice”. W charakterze mineralnych materiałów wiążących w recepturach mieszanek spoiwowych przewidziano wynoszące od 10 do 30% udziały mielonego klinkieru portlandzkiego, cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R oraz mielonego wapna palonego. Zaprojektowane składy spoiw przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zaprojektowane składy spoiw drogowych

Nr spoiwa	Zawartość składnika [%]								
	mielony klinkier portlandzki	cement CEM I 42,5 R	mielone wapno palone	popiół fluidalny „Turów”	popiół fluidalny „Turów” 0–30 $\mu\text{m}$	popiół fluidalny „Turów” pow. 30 $\mu\text{m}$	mieszanka popiołowo-żużłowa „Polańiec” 0–30 $\mu\text{m}$	popiół lotny „Polańiec” 0–100 $\mu\text{m}$	mielony żużel stalowniczy
1	30	-	-	35	-	-	-	35	-
2	30	-	-	70	-	-	-	-	-
3	30	-	-	-	-	35	-	35	-
4	30	-	-	-	-	70	-	-	-
5	30	-	-	-	35	-	-	35	-
6	30	-	-	-	70	-	-	-	-

cd. tab. 1

Nr spoiwa	Zawartość składnika [%]								
	mielony klinkier portlandzki	cement CEM I 42,5 R	mielone wapno palone	popiół fluidalny „Turów”	popiół fluidalny „Turów” 0–30 µm	popiół fluidalny „Turów” pow. 30 µm	mieszanka po- piolowo-zużłowa „Polaniec” 0–30 µm	popiół lotny „Polaniec” 0–100 µm	mielony żużel stalowniczy
7	20	-	-	40	-	-	-	40	-
8	20	-	-	-	-	40	-	40	-
9	20	-	-	-	40	-	-	40	-
10	20	-	-	-	-	-	-	80	-
11	30	-	-	35	-	-	35	-	-
12	30	-	-	-	-	-	70	-	-
13	-	30	-	35	-	-	-	35	-
14	-	30	-	70	-	-	-	-	-
15	-	30	-	-	-	35	-	35	-
16	-	30	-	-	-	70	-	-	-
17	-	30	-	-	35	-	-	35	-
18	-	30	-	-	70	-	-	-	-
19	30	-	-	35	-	-	-	-	35
20	20	-	-	40	-	-	-	-	40
21	20	-	-	80	-	-	-	-	-
22	20	-	10	70	-	-	-	-	-
23	10	-	10	80	-	-	-	-	-

Źródło: Opracowanie własne.

Po zestawieniu składów i dokładnym zhomogenizowaniu mieszanin przeprowadzono badania własności fizycznych i wytrzymałościowych wszystkich spoiw. Przy zarabianiu spoiw wodą, stosowano współczynnik wodno-spoiwowy ustalony na podstawie badań wykonanych przy pomocy stolika potrząsalnego. Dla wszystkich spoiw ilość wody zarobowej odpowiadała rozplywowi zaprawy na stoliku potrząsalnym wynoszącym 16–17 cm.

Badania własności fizycznych i wytrzymałościowych przeprowadzono w oparciu o normy cementowe, a uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

T a b e l a 2

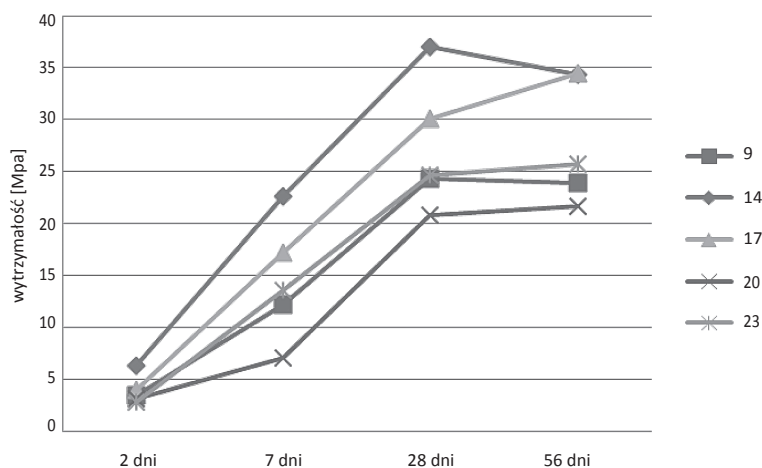
*Wyniki badań własności fizycznych i wytrzymałościowych spoiw drogowych*

Nr spoiwa	W/S	Czasy wiązania [h : min]		Stalność objętości wg Le Chateliera [mm]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			
		początek	koniec		2 dni	7 dni	28 dni	56 dni
1	0,41	04:40	06:25	1,0	7,0	16,5	22,5	27,7
2	0,55	04:25	06:35	1,0	7,9	19,4	26,7	30,7
3	0,45	06:10	07:50	1,0	5,2	12,7	17,0	20,6
4	0,48	05:10	06:15	1,0	8,7	18,9	25,0	26,6
5	0,42	05:50	07:40	0,5	4,6	15,9	25,1	27,9
6	0,59	05:45	08:20	0,5	5,9	28,9	38,4	38,1
7	0,46	05:35	08:35	0,0	3,3	9,7	20,6	19,5
8	0,46	05:00	06:25	1,0	2,9	8,8	19,3	20,1
9	0,45	06:15	08:55	0,0	3,4	12,2	24,3	23,9
10	0,31	07:05	09:30	0,0	2,7	4,8	7,8	10,7
11	0,44	03:25	05:45	2,5	10,3	20,8	31,9	33,1
12	0,34	03:10	11:30	2,0	2,9	8,2	17,0	22,4
13	0,42	06:30	08:25	2,0	3,7	13,0	22,6	30,7
14	0,53	03:10	06:40	1,5	6,3	22,6	37,0	34,4
15	0,44	05:35	07:40	1,0	3,4	12,7	24,8	31,1
16	0,58	03:50	05:50	2,0	3,1	9,4	31,5	33,7
17	0,43	04:40	08:30	2,0	4,0	17,2	30,1	34,5
18	0,64	03:25	08:30	0,0	11,1	23,5	30,1	31,8
19	0,43	02:50	05:15	1,0	5,1	11,8	20,6	19,6
20	0,45	03:05	05:10	1,0	3,1	7,0	20,8	21,7
21	0,61	06:10	08:45	2,0	3,8	17,2	23,8	25,2
22	0,56	02:45	05:05	1,5	3,6	17,1	34,4	36,4
23	0,60	02:50	05:40	2,0	2,8	13,6	24,7	25,7

Ź r ó d ł o: Jak w tab. 1.

### 3. Badanie możliwości wykorzystania spoiw hydraulicznych w drogownictwie

Na podstawie uzyskanych wyników (tab. 2), a także przy uwzględnieniu możliwości aplikacyjnych, do badań mających na celu określenie przydatności do stabilizacji gruntów oraz do wykonywania chudych betonów na podbudowy drogowe, wybrano 5 spoiw spośród 23 przedstawionych w tabeli 1.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Wytrzymałość na ściskanie wytypowanych spoiw hydraulicznych

Z pięciu wybranych spoiw, których przyrosty wytrzymałości w czasie dojrzewania obrazuje rycina 1, dwa – a mianowicie spoiwa 9 i 14 – zostały wytypowane jako składniki do mieszanek gruntowo-spoiwowych przeznaczonych do wykonywania podbudowy drogowej (warstwy podstawowej przy budowie dróg). Przeprowadzono badania, zakładając udział spoiwa w mieszankach gruntowo-spoiwowych na poziomie 8, 10 i 12%. Dopelnieniem składu mieszanki stanowił piasek (grunt niespoisty). Składy mieszanek i otrzymane dla nich wyniki badań zawiera tabela 3.

Tabela 3

Chude betony na podbudowy drogowe

Wyszczególnienie	Piasek	Spoiwo 9			Spoiwo 14		
	100%	8%	10%	12%	8%	10%	12%
Wilgotność [%]	4,52	6,00	8,00	8,50	9,20	10,00	10,50
Gęstość objętościowa [g/cm <sup>3</sup> ]	1,76	1,87	1,93	1,94	1,91	1,92	1,92
Wytrzymałość R7 [MPa]	–	0,70	1,00	1,50	0,10	0,23	0,98

cd. tab. 3

Wyszczególnienie	Piasek	Spoiwo 9			Spoiwo 14		
	100%	8%	10%	12%	8%	10%	12%
Wytrzymałość R28 [MPa]	-	1,50	1,90	2,40	0,80	1,90	1,40
Mrozoodporność	-	-	0,32	0,63	0,10	0,20	0,60

Źródło: Jak w tab. 1.

Parametry maksymalnej gęstości objętościowej i towarzyszącej jej wilgotności optymalnej wyznaczono przy pomocy aparatu Proctora. Wytrzymałości badano na próbkach walcowych o szerokości i średnicy równych 80 mm, formowanych aparatem Proctora. Próbkę poddano badaniom wytrzymałości od momentu zaformowania do czasu łamania przechowywane były w wilgotnym piasku. Wytrzymałość badano po 7 i 28 dniach. Przy badaniu mrozoodporności, po 14 dniach przechowywania w piasku, próbki poddano 14 cyklom zamrażania i odmrężania (1 cykl trwał dobe), a następnie łamano. Wskaźnik mrozoodporności jest ilorazem wytrzymałości próbek po zamrażaniu do wytrzymałości próbek dojrzewających 28 dni w piasku.

Kolejne trzy spoiwa (oznaczone w tab. 1 jako 17, 20, 23) wytypowano jako składniki mieszanek gruntowo-spoiwowych i przebadano pod kątem spoiw do stabilizacji gruntu przy pomocy aparatu CBR. Oznaczono natychmiastowy współczynnik nośności i współczynnik nośności po czterech dniach dojrzewania. Do momentu badania (4 doby) próbki przechowywane były w warunkach laboratoryjnych. Do badań użyto dwóch rodzajów gruntów: spoistego (głina) i niespoistego (piasek), a przeprowadzono je przy różnych udziałach procentowych spoiwa względem stabilizowanego gruntu. Maksymalną gęstość objętościową i wilgotność optymalną wyznaczono aparatem Proctora. Składy i wyniki badań mieszanek zawierają tabele 4 i 5.

Tabela 4

*Stabilizacja gruntu niespoistego*

Wyszczególnienie	Piasek	Spoiwo 17				Spoiwo 20			Spoiwo 23		
	100%	1,5%	3%	8%	12%	3%	8%	12%	3%	8%	12%
Wilgotność [%]	4,80	11,70	11,50	10,50	9,70	11,50	11,20	10,60	11,80	11,3	12,07
Gęstość objętościowa [g/cm <sup>3</sup> ]	1,72	1,82	1,82	1,91	1,94	1,82	1,88	1,91	1,83	1,88	1,88
Nośność natychmiastowa [%]	-	5,70	7,60	bd	21,42	15,01	bd	21,10	14,30	bd	36,1
Nośność po 4 dniach	-	20,4	34,80	bd	bd	60,80	bd	bd	39,20	bd	bd

bd – brak danych.

Źródło: Jak w tab. 1.



W przypadku oznaczania nośności po 4 dniach dojrzewania dla dodatku spoiwa w ilości 8% i więcej, oznaczenie było niemożliwe do przeprowadzenia, ponieważ próbka stwardniała zbyt mocno, co przekraczało zdolności pomiarowe aparatury.

T a b e l a 5

*Stabilizacja gruntu spoistego*

Wyszczególnienie	Gлина	Spoivo 17	Spoivo 20	Spoivo 23
	100%	3%	3%	3%
Wilgotność [%]	21,00	18,00	20,00	24,00
Gęstość objętościowa [g/cm <sup>3</sup> ]	1,63	1,62	1,60	1,57
Nośność natychmiastowa	–	17,90	14,30	17,10
Nośność po 4 dniach	–	19,40	24,40	19,60

Ź r ó d ł o: Jak w tab. 1.

Wskaźnik nośności gruntu  $w_{nos}$  wyrażony jest procentowym stosunkiem obciążenia jednostkowego  $p$ , które należy zastosować, aby trzpień o kształcie wydłużonego walca o przekroju 20 cm<sup>2</sup> ( $d = 5,0$  cm) wcisnąć w odpowiednio przygotowaną próbkę gruntu do określonej głębokości 2,5 mm lub 5,0 mm, z jednostajną prędkością 1,25 mm/min, do porównawczego obciążenia jednostkowego  $p_p$ , które jest wartością stałą i odpowiada ciśnieniu, jakie było potrzebne, aby taki sam trzpień z taką samą prędkością oraz na taką samą głębokość wcisnąć w materiał wzorcowy. Wskaźnik nośności gruntu  $w_{nos}$  wyznacza się w procentach wg wzoru:

$$W_{nos} = (p/p_p) \times 100 [\%]$$

gdzie:

$p$  – obciążenie, jakie należy zastosować, aby trzpień o kształcie walca o przekroju 20 cm<sup>2</sup> wcisnąć w odpowiednio przygotowaną próbkę na głębokość 2,5 i 5,0 mm, z jednostajną prędkością 1,25 mm/min,

$p_p$  – obciążenie porównawcze odpowiadające zagłębieniu trzpienia na 2,5 mm wynosi 7 MPa, a odpowiadające zagłębieniu trzpienia na 5,0 mm wynosi 10 MPa.

Za przydatne uznaje się spoiwo, które po wymieszaniu z gruntem uzyskuje wskaźnik nośności natychmiastowej lub czterodniowej na poziomie co najmniej 10%.

Przedstawione wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

– mieszanka spoiwowo-gruntowa zestawiona przy 12% udziale spoiwa 9 spełnia wymogi stawiane materiałom do budowy warstw w konstrukcji nawierzchni drogowej i może być stosowana w tym celu (wg PN-S-96012:1997);

- mieszanka spoiwowo-gruntowa zestawiona przy 12% udziale spoiwa 14 spełnia wymogi stawiane materiałom do budowy warstw w konstrukcji nawierzchni drogowej i może być stosowana w tym celu (wg PN-S-96012:1997);
- w mieszankach zestawionych przy użyciu spoiw 17, 20 i 23 już 3% dodatek pozwala uzyskać wartość nośności przekraczającą 10%.

#### 4. Podsumowanie

Popiół fluidalny z Elektrowni „Turów” jest ubocznym produktem spalania o bardzo interesujących własnościach, które pozwalają na jego różnorodne aplikacje, w tym – jak pokazują przedstawione wyniki badań – na wykorzystanie w charakterze podstawowego składnika spoiw hydraulicznych dla drogownictwa. Dzięki wysokiej aktywności pucolanowej, drobnoziarnistości i wysokiej rozwiniętej powierzchni właściwej spoiwa z jego znaczącym udziałem osiągają po 28 dniach dojrzewania wytrzymałość na ściskanie z reguły przekraczającą 20 MPa, podczas gdy wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach jedyne spoiwa niezawierającego popiołu fluidalnego z Elektrowni „Turów”, a opartego na konwencjonalnym popiele lotnym z Elektrowni „Połaniec” wyniosła zaledwie 7,8 MPa. Korzystny wpływ popiołu fluidalnego z Elektrowni „Turów” na wytrzymałość mechaniczną spoiw z jego udziałem przekłada się na stwierdzoną możliwość stosowania tych spoiw zarówno do warstw konstrukcyjnych dróg (dolnej i górnej podbudowy), jak i do stabilizacji gruntów spoistych i niespoistych. Nie wydaje się natomiast uzasadnione stosowanie do wymienionych aplikacji popiołu fluidalnego po jego rozfrakcjonowaniu, gdyż jak wykazały wyniki badań nie osiąga się w ten sposób poprawy własności spoiw hydraulicznych\*.

#### Literatura

- [1] Ahmaruzzaman M., *A review on the utilization of fly ash*, „Progress in Energy and Combustion Science” 2010, Vol. 36, s. 327–363.
- [2] Mukherjee A.B., Zevenhoven R., Bhattacharya P., Sajwan K.S., Kikuchi R., *Mercury flow via coal and coal utilization by-products; a global perspective*, „Resources, Conservation and Recycling” 2008, Vol. 52, s. 571–591.
- [3] Joshi R.C., Lothia R.P., *Fly ash in concrete : production, properties and use*, [w:] *Advances in concrete technology*, Vol. 2, Gordon and Breach Science Publishers, New York 1997.
- [4] Pachowski J., *Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1976.

---

\* Praca wykonana w ramach projektu INITECH nr ZPB/61/65832/IT2/10, pt.: „Analiza uwarunkowań oraz badania możliwości wykorzystania wybranych UPS w budownictwie i inżynierii lądowej”.

- [5] S z y d ł o A., W y r z y k o w s k i S., *Wykorzystanie mieszanin popiołowo-żużlowych z Elektrociepłowni Wrocław w budownictwie drogowym*, [w:] *Popioły z energetyki: X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja, Warszawa, 14–17 października 2003 r.*, red. A. Myszkowska, T. Szczygielski, BIG, Szczecin 2003, s. 181–199.
- [6] W i l e Ń s k i P., *Możliwości i warunki wykorzystania energetycznych odpadów paleniskowych w budownictwie komunikacyjnym*, [w:] *Zagospodarowanie pyłów i popiołów z energetyki i ciepłownictwa. Technologia, organizacja, ekonomika. II Konferencja*, red. T. Szczygielski, TU UPS, Sopot 1995.
- [7] J a r e m a - S u c h o r o w s k a S., K u c z a k B., *Sposoby uzdatniania popiołów i żużli zmodyfikowanych w wyniku wdrażania przedsięwzięć ekologicznych*, [w:] *Popioły z energetyki, Warszawa, 24–26 października 2010 r.*, red. T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2010], s. 371–392.
- [8] N a l b a n t o ğ l u Z., *Effectiveness of Class C fly ash as an expansive soil stabilizer*, „Construction and Building Materials” 2004, Vol. 18, s. 377–381.
- [9] M c C a r t h y M.J., C s e t e n y i L.J., S a c h d e v a A., D h i r R.K., *Identifying the role of fly ash properties for minimizing sulfate-heave in lime-stabilized soils*, „Fuel” 2012, Vol. 92, s. 27–36.
- [10] C y s k e W., S z c z y g i e l s k i T., *Produkty na bazie popiołów wysokowapiennych w budownictwie komunikacyjnym*, [w:] *Popioły z energetyki, Warszawa, 24–26 października 2010 r.*, red. T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2010], s. 393–405.
- [11] G h o s h A., D e y U., *Bearing ratio of reinforced fly ash overlying soft soil deformation modulus of fly ash*, „Geotextiles and Geomembranes” 2009, Vol. 27, s. 313–320.
- [12] S e z e r A., İ n a n G., Y i l m a z H.R., R a m y a r K., *Utilization of a very high lime fly ash for improvement of Izmir clay*, „Building and Environment” 2006, Vol. 41, s. 150–155.
- [13] R o s z c z y Ń i a ł s k i W., G a w l i c k i M., G r z y b o w s k a W., F o n f e r k o Ł., *Spoiwa anhydrytowo-popiołowo-cementowe dla celów drogownictwa*, [w:] *Zagospodarowanie pyłów i popiołów z energetyki i ciepłownictwa. Technologia, organizacja, ekonomika. I Konferencja*, red. T. Szczygielski, TU UPS, Sopot 1993.
- [14] S e n o l A., E d i l T.B., B i n - S h a f i q u e M.S., A c o s t a H.A., B e n s o n C.H., *Soft subgrades stabilization by using various fly ashes*, „Resources, Conservation and Recycling” 2006, Vol. 46, s. 365–376.
- [15] M u l d e r E., *A mixture of fly ashes as road base construction material*, „Waste Management” 1996, Vol. 16, s. 15–20.
- [16] K r a s z e w s k i C., D r e g e r M., *Popioły lotne w świetle dotychczasowych norm PN oraz nowych norm PN-EN w budownictwie drogowym – analizy porównawcze właściwości wybranych popiołów lotnych w Polsce*, [w:] *Popioły z energetyki: monografia, Kraków, 6–8 listopada 2006 r.*, red. A. Myszkowska, T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2006], s. 79–92.
- [17] K a b a ł a J., B r z o z o w s k i B., R o s z c z y Ń i a ł s k i W., M a ł o l e p s z y J., *Własności i zastosowanie ubocznych produktów spalania węgla w kotłach fluidalnych*, [w:] *Popioły z energetyki: monografia, Kraków, 6–8 listopada 2006 r.*, red. A. Myszkowska, T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2006], s. 121–142.
- [18] K a b a ł a J., L i s t k i e w i c z J., *Aktywowane i nieprzetworzone popioły lotne z kotłów fluidalnych Elektrowni Turów S.A. w drogownictwie*, [w:] *Popioły w drogownictwie: seminarium*

*techniczne, 10–12 grudnia 2003 r., Licheń Stary k. Konina*, red. A. Myszkowska, T. Szczygielski, BIG, Szczecin [2004].

WOJCIECH ROSZCZYŃIAŁSKI (JR)  
PIOTR STĘPIEŃ  
KAMIL BOGUSZ  
WOJCIECH ROSZCZYŃIAŁSKI

#### APPLICATION OF COAL COMBUSTION BY-PRODUCTS AS A BASIC COMPONENT OF HYDRAULIC ROAD BINDERS

**Keywords:** hydraulic binders, binders for road construction, combustion by-products, fluidized bed combustion fly ashes, fly ashed.

The interest of the road construction industry in waste materials is growing, especially in terms of coal combustion by-products (CCP). Their application allows not only to reduce environmental impact, but also allows to create road bases characterised with good parameters. In this research coal combustion by-products from two power plants were used – power plant burning brown coal in Turów and power plant burning hard coal in Połaniec. The main goal was to apply mentioned by-products, also improved by separation, as a basic component of hydraulic road binders. A number of mixed mortars was prepared, for which basic physical properties were determined (W/C ratio, time of set, soundness) as well as compressive strength. Obtained results allowed to test selected mixes for soil stabilization and road foundation concretes.