



Wpływ temperatury oraz dodatku cementu na czas wiązania zawiesin popiołowo-wodnych

Radostaw Pomykała, Waldemar Kępyś, Paulina Łyko
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wstęp

Produkcja energii elektrycznej i ciepłej jest w znacznym stopniu oparta na termicznym przekształcaniu stałych paliw kopalnych węgla kamiennych i brunatnych, w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych. Prowadzone w tych zakładach procesy przetwarzania paliw kopalnych na energię wiążą się z produkcją dużych ilości odpadów nazywanych ogólnie ubocznymi produktami spalania (UPS). Tradycyjnie do UPS zalicza się popioły lotne, żużle, mieszaniny popiołowo-żużłowe, mikrosfery, odpady z odsiarczania spalin [3, 8]. Popioły lotne to mineralne pozostałości ze spalania węgla, które opuszczają palenisko wraz z gazami odlotowymi, a następnie są wychwytywane za pomocą urządzeń odpylających. Szacuje się, że rocznie (2009 rok) w Polsce powstaje około $4,2 \cdot 10^6$ Mg popiołów lotnych [9]. Specyficzne właściwości fizyczne, chemiczne i mineralogiczne oraz wytwarzane bardzo duże ilości tego rodzaju odpadów pozwalają na ich szerokie wykorzystanie jako surowców w wielu dziedzinach gospodarki. Większość tych surowców wtórnych wykorzystuje się w budownictwie, ceramice, górnictwie, drogownictwie, czy nawet w rolnictwie. Jednak wytwarzana ilość popiołów lotnych w ostatnim okresie ulega wyraźnym zmianom. Ze względu na rygorystyczne wymagania Unii Europejskiej w zakresie emisji CO_2 , SO_2 i tlenków azotu zakłada się coraz więcej instalacji spalania z kotłami fluidalnymi [6], a tym samym spada ilość produkowanych przez polską energetykę konwencjonalnych popiołów lotnych. Popioły te różnią się między sobą właściwościami, a w konsekwencji zakresem zastosowania

od szeroko wykorzystywanych popiołów lotnych powstających przy tradycyjnych metodach spalania węgla w kotłach pyłowych. Warunki w jakich powstają popioły ze spalania węgla w kotłach fluidalnych różnią się od tych otrzymywanych z kotłów pyłowych (spalanie przebiega w niższej temperaturze niż w kotłach tradycyjnych), co w konsekwencji powoduje inne właściwości tych odpadów. Przede wszystkim popiół fluidalny nie zawiera fazy szklistej, natomiast zawiera znaczną ilość fazy amorficznej. Wszystko to powoduje inny zakres ich zastosowania w stosunku do popiołów z kotłów konwencjonalnych. Zainteresowanie pozytywnym popiołu fluidalnego do produkcji materiałów budowlanych, w tym jego wykorzystanie w kompozytach cementowych gwałtownie wzrosło. Jak wynika z normy PN-EN 197-1 popioły fluidalne mogą być stosowane w ilości do 5% jako dodatek mineralny drugorzędny w produkcji cementu [1, 4, 10], a jako dodatek do betonu popioły fluidalne stosowane są obecnie jedynie na podstawie aprobat technicznych. Popioły ze spalania węgla poddawane są licznym i kompleksowym badaniom, opartych na standardach Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA). Dotychczasowe wyniki badań potwierdzają, że są one bezpieczne, nie zagrażają zdrowiu ludzi i zwierząt, nie stanowią też zwykle niebezpieczeństwa dla środowiska naturalnego. Ze względu na zaostrzające się regulacje prawne i związane z tym wymagania w zakresie ochrony środowiska utylizacja popiołów staje się koniecznością. Istota wykorzystania popiołów lotnych czy też popiołów fluidalnych w całym sektorze budownictwa, w tym komunikacyjnym, sprowadza się przede wszystkim do ograniczenia stosowania surowców naturalnych, eliminuje też uciążliwe składowiska odpadów [2]. Polska jest liderem pod względem rozwijania technologii wytwarzania produktów na bazie UPS dla drogownictwa. Stopień ich gospodarczego wykorzystania jest wysoki również w przemyśle materiałów budowlanych i wynosi około 55–57%. Charakterystyczną i odmienną niż w innych krajach cechą wykorzystywania popiołów w Polsce jest fakt, że ponad 30% służy jako składnik materiałów do wypełniania podziemnych wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku [3, 5, 7].

Badania w zakresie wpływu podwyższonej temperatury na właściwości zawiesin popiołowo-wodnych oraz popiołowo-wodnocementowych zostały podjęte dla określenia zachowania się tego typu mieszanin w specyficznych warunkach kopalń podziemnych, gdzie

w zależności od lokalizacji temperatura otoczenia może znacznie przekraczać 40°C, a wilgotność utrzymuje się na poziomie zbliżonym do 100%. Znajomość wpływu podwyższonej temperatury sezonowania na czas wiązania zawiesin popiołowo-wodnych z dodatkiem różnego typu cementów może być przydatna również w innych zastosowaniach, a tym samym przyczynić się do zwiększania zakresu i efektywności wykorzystania ubocznych produktów spalania.

W artykule opisano badania właściwości zawiesin materiałów drobnoziarnistych dwu- i trzyskładnikowych, przygotowanych w oparciu o popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotle konwencjonalnym oraz fluidalnym. Głównym celem badań było określenie wpływu temperatury na czas wiązania zawiesin, które różniły się zarówno rodzajem zastosowanego popiołu, całkowitym stosunkiem części stałych do wody, zawartością cementu, a także jego rodzajem. Wymagało to wielokierunkowej analizy zagadnienia również z użyciem programu STATISTICA.

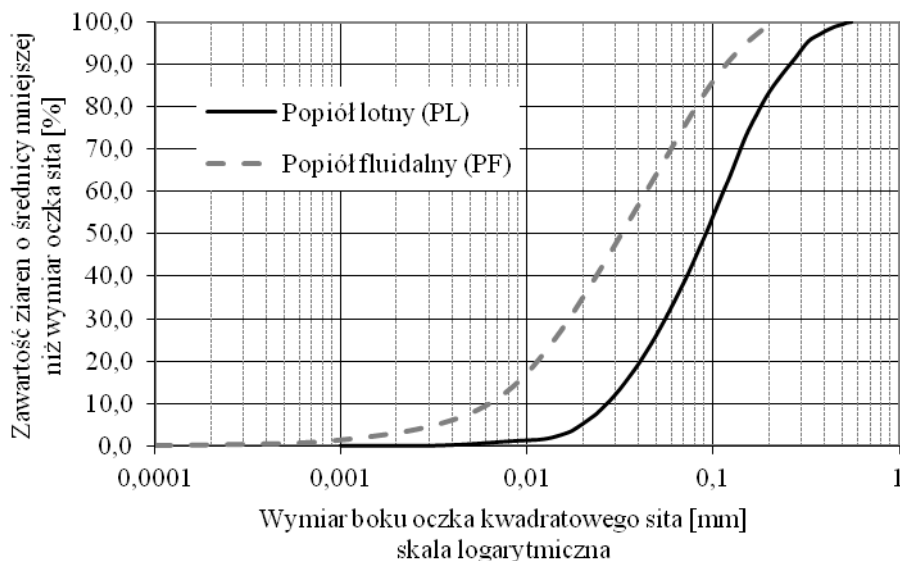
2. Materiały i zawiesiny

Do badań wykorzystano dwa typowe popioły ze spalania węgla kamiennego pochodzące z dwóch dużych elektrowni zlokalizowanych w południowej części Polski. Jeden z nich to popiół lotny z kotła fluidalnego (PF), drugi — popiół lotny z kotła pyłowego zawierający produkty odsiarczania spalin, oznaczony jako PL. Podstawowe właściwości wykorzystanych materiałów zestawiono w tabeli 1., a składy ziarnowe popiołów przedstawiono na rys. 1.

Zawiesiny popiołowo-wodne od lat stosowane są w górnictwie węgla kamiennego jako mieszaniny do doszczelniania zrobów lub jako podsadzka zestalana. Aby było to możliwe muszą spełniać szczegółowe wymagania określone w normie PN-G-11011:1998. Wśród opisanych w nich badań jest również czas wiązania. Norma nie zawiera jednak dokładnych wymagań w tym zakresie, a jedynie informację, że czas wiązania powinien zostać określony w zależności od warunków i wymagań stawianych mieszaninom w konkretnych zastosowaniach.

Tabela 1. Oznaczenie oraz podstawowe właściwości materiałów**Table 1.** Marking and the basic properties of materials

Typ materiału	Oznaczenie	Wilgotność [%]	Barwa	Gęstość właściwa [Mg/m ³]
Popiół lotny ze spalania węgla kamiennego zawierający produkty odsiarczania spali	PL	0,5	Szara	2,35
Popiół lotny ze spalania węgla kamiennego w kotle fluidalnym	PF	0,7	Jasnoszara	2,15
Cement portlandzki CEM I 42,5 R	C	0,3	Jasnoszara	3,1
Cement wysokoglinowy Górkal 70	G	0,2		3,0

**Rys. 1.** Składy ziarnowe popiołów wykorzystanych do przygotowania zawiesin
Fig. 1. Grain composition of ashes used in the preparation of suspensions

Zawiesiny popiołowo-wodne przygotowano w ten sposób, aby ich rozlewność (wg normy PN-G-11011:1998) pozostawała w zakresie od 150 do 270 mm. Założono niezmienny udział części stałych w zawiesinach jednego typu (dla konkretnego rodzaju popiołu oraz określonego cementu). W przypadku, kiedy do zawiesin dodawano również cement, zastępował on odpowiadającą mu wagowo część popiołu. Ujawniły się przy tym wyraźne różnice w wodożądności stosowanych materiałów.

Zwiększanie udziału cementu CEM I powodowało wzrost rozlewności zawiesin, szczególnie tych na bazie popiołu fluidalnego. Większy udział cementu wysokoglinowego wpływa na zmniejszenie rozlewności. Z tego powodu konieczne było określenie różnych zawartości części stałych do wody (s/w) dla każdego rodzaju zawiesiny oraz cementu. Receptury poszczególnych zawiesin zestawiono w tabeli 2.

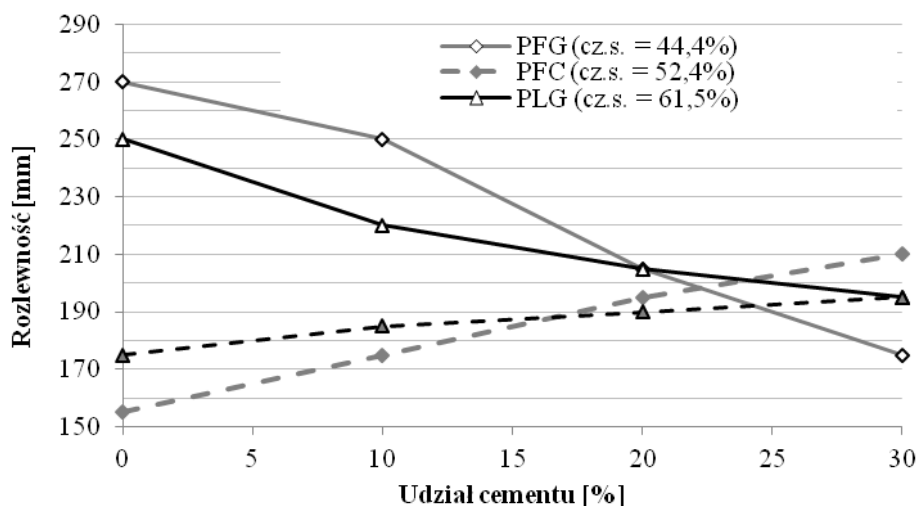
Tabela 1. Skład badanych zawiesin
Table 1. Composition of tested suspensions

Zawiesina	Stosunek s/w	Rodzaj dodanego cementu	Zawartość części stałych [%]	Udział cementu w cz. stałych [%]	Udział popiołu w cz. stałych [%]	Udział wody w zawieszynie [%]	Udział popiołu w zawieszynie [%]	Udział cementu w zawieszynie [%]
PFG	0,8:1	Cement Górkal 70 (G)	44,4	0	100	56	44	0
PF-10G	0,8:1			10	90	56	40	4
PF-20G	0,8:1			20	80	56	35	9
PF-30G	0,8:1			30	70	56	31	13
PFC	1,1:1	CEM I 42,5 R (C)	52,4	0	100	48	52	0
PF-10C	1,1:1			10	90	48	47	5
PF-20C	1,1:1			20	80	48	42	10
PF-30C	1,1:1			30	70	48	37	16
PLG	1,6:1	Cement Górkal 70 (G)	62,5	0	100	38	62	0
PL-10G	1,6:1			10	90	38	56	6
PL-20G	1,6:1			20	80	38	50	12
PL-30G	1,6:1			30	70	38	44	18
PLC	2,3:1	CEM I 42,5 R (C)	69,7	0	100	30	70	0
PL-10C	2,3:1			10	90	30	63	7
PL-20C	2,3:1			20	80	30	56	14
PL-30C	2,3:1			30	70	30	59	21

3. Badania i dyskusja wyników

Zaraz po sporządzeniu zawiesin określono ich rozlewność (rys. 2) oraz ilość wody nadosadowej (rys. 3). Rozlewność jest jednym z podstawowych badań pozwalających na szybkie określenie konsystencji zawiesin. Jej wartość zależy m.in. od całkowitej zawartości części stałych, a także od wodożądności poszczególnych składników. W przypadku ana-

lizowanych zawiesin obserwowano odmienny wpływ dodatków dwóch rodzajów cementu. Wraz ze zwiększaniem ilości cementu wysokoglinowego (G), przy stałej zawartości części stałych, rozlewność zawiesin (PLG i PFG) malała. Dodawanie cementu CEM I powodowało zwiększanie rozlewności.

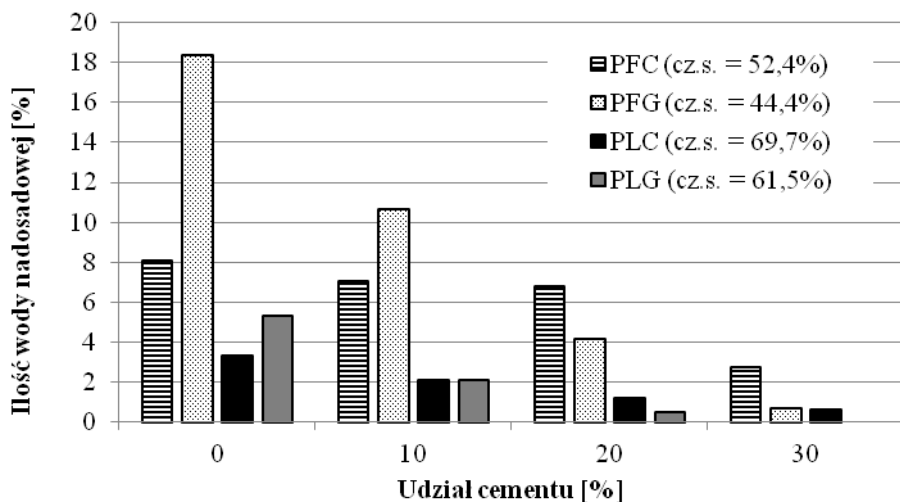


Rys. 2. Rozlewność badanych zawiesin

Fig. 2. Fluidity of tested suspensions

Ilość wody nadosadowej w analizowanych zawiesinach była wyraźnie mniejsza w próbkach zawiesin zawierających większą zawartość części stałych. Zwiększanie udziału cementów dawało podobny efekt. Największe zmiany w tym zakresie zaobserwować można dla zawiesin PFG, czyli zawiesin popiołu fluidalnego (PF) z cementem wysokoglinowym (G) o stosunku s/w = 0,8 i o najmniejszej zawartości części stałych: 44,4%. W mniejszym stopniu dodatek cementu wpływał na ilość wody nadosadowej zawiesin na bazie popiołu lotnego z produktami odsiarczania spalin (PL).

W dalszej kolejności przygotowano próbki i umieszczono je w komorze klimatycznej (dla temperatury 20°C), oraz w trzech pojemnikach łaźni wodnych, w których panowały temperatury odpowiednio 40, 60 i 80°C. We wszystkich przypadkach wilgotność wynosiła 100%.

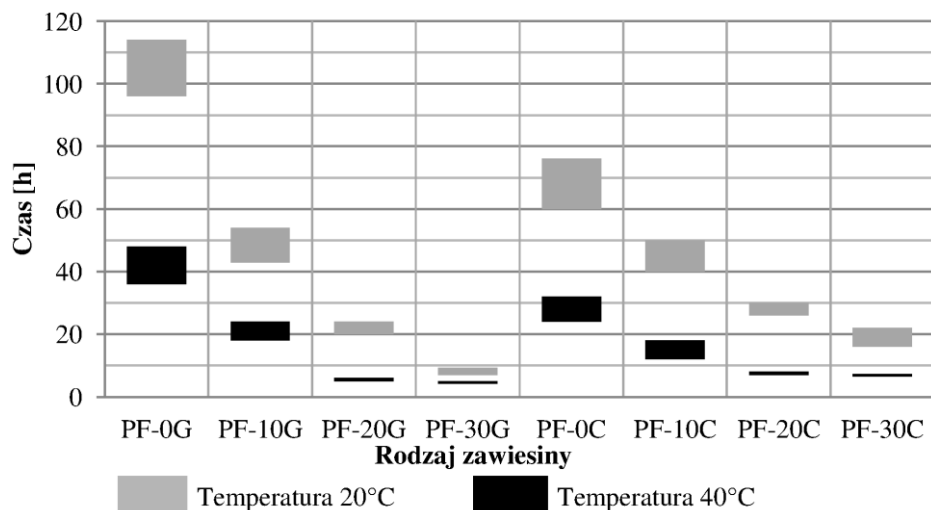


Rys. 3. Ilość wody nadosadowej badanych zawiesin
Fig. 3. Amount of decanting water of tested suspensions

Czas wiązania określano z wykorzystaniem aparatu Vicata wg normy PN-88/B-04300. Przebieg wiązania poszczególnych zawiesin zestawiono na wykresach 4–7. Znaczniki określają właściwy czas wiązania, zawarty pomiędzy początkiem a końcem wiązania. Na każdym wykresie zamieszczono wyniki dla dwóch temperatur sezonowania.

We wszystkich przypadkach, zarówno większy udział cementu, jak i wyższa temperatura przyczyniały się do przyspieszenia i skrócenia wiązania. Wpływ tych czynników na poszczególne zawiesiny nie był jednak identyczny. Dla oceny siły ich oddziaływania, można doszukać się pewnych podobieństw porównując bezpośrednio zawiesiny o różnym dodatku cementu i sezonowane w różnej temperaturze. Najłatwiejsze jest to dla zawiesin na bazie popiołu fluidalnego. Na przykład zauważyć można niewielkie różnice w czasie wiązania pomiędzy zawiesiną PF-0G sezonowaną w 40°C oraz PG-10G sezonowaną w 20°C, lub analogicznie PF-10G w 40°C oraz PF-20G w 20°C. W tych wypadkach wpływ omawianych czynników jest bardzo podobny: zwiększenie temperatury o 20°C daje podobny efekt jak zwiększenie udziału cementu o 10%. Jednak, pomimo tego, że takich lub podobnych przypadków można znaleźć więcej, to nie układają się one w jednolitą tendencję dla konkretnego rodzaju popiołu czy dodatku cementu.

Dlatego dla określenia wpływu poszczególnych czynników na przebieg wiązania, przeprowadzono analizę regresji wielorakiej z wykorzystaniem programu STATISTICA. Jako zmienną niezależną wybrano moment zakończenia wiązania, a jako zmienne zależne posłużyły: udział cementu, stosunek części stałych do wody s/w oraz temperatura. Zmienna „stosunek s/w” wskazuje jednocześnie na rodzaj zastosowanego cementu. Analizy wykonano oddzielnie dla zawiesin na bazie różnych popiołów. W tabeli 2 zestawiono wyniki oraz najważniejsze wskaźniki regresji wielorakiej. Pokazane są tu standaryzowane współczynniki regresji (Beta) i zwykłe współczynniki regresji (B).

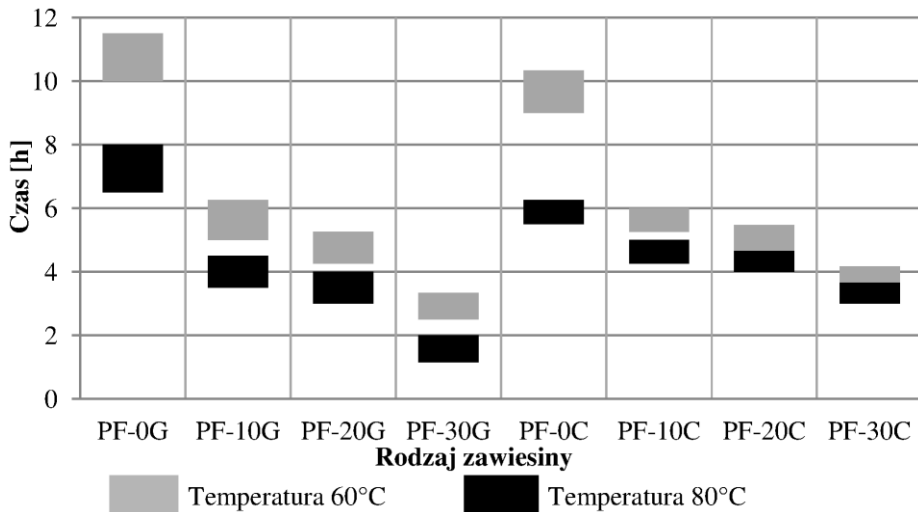


Rys. 4. Czas wiązania zawiesin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego (PF) z dodatkiem cementu wysokoglinowego (G) lub cementu portlandzkiego (C) w temperaturze 20 i 40°C

Fig. 4. Setting time of suspension prepared on the base of fluidized fly ash (PF) with addition of High Alumina Cement (G) or Portland Cement (C) in the temperature 20 and 40°C

Wielkość współczynników Beta pozwala porównać relatywne wkłady, jakie każda ze zmiennych niezależnych wnosi w predykcję zmiennej zależnej. W przypadku zawiesin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego, na czas do zakończenia wiązania największy wpływ miała temperatura i w nieco mniejszym stopniu — zawartość cementu. Relacje

te są podobne dla zawiesin popiołu lotnego (PL), ale tutaj istotną rolę odgrywa również stosunek części stałych, tylko w nieco mniejszym stopniu niż dodatek cementu. Bardzo niska wartość współczynnika beta dla stosunku s/w dla zawiesin popiołu fluidalnego, świadczy również o niewielkim wpływie rodzaju dodanego cementu na czas wiązania.

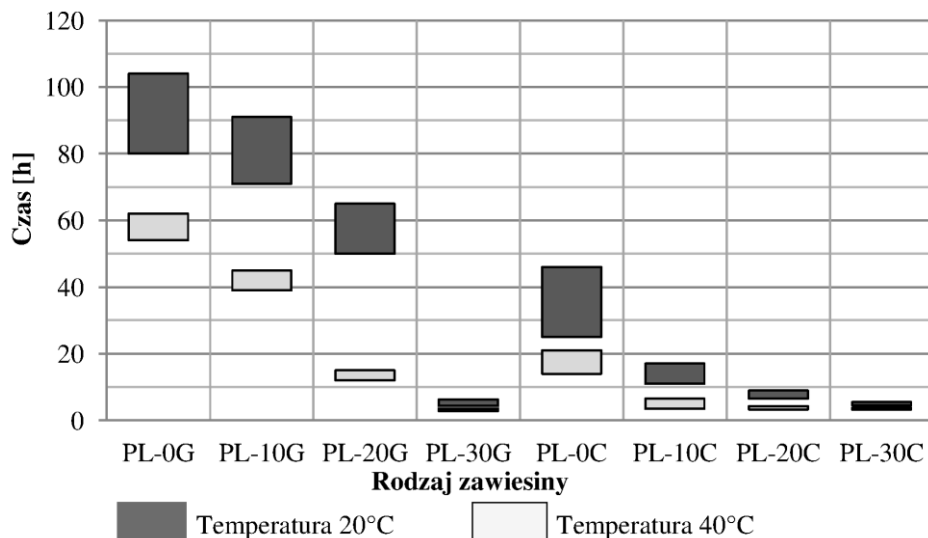


Rys. 5. Czas wiązania zawiesin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego (PF) z dodatkiem cementu wysokoglinowego (G) lub cementu portlandzkiego (C) w temperaturze 60 i 80°C

Fig. 5. Setting time of suspension prepared on the base of fluidized fly ash (PF) with addition of High Alumina Cement (G) or Portland Cement (C) in the temperature 60 and 80°C

Określenie, lub chociaż oszacowanie wpływu rodzaju cementu na czas wiązania zawiesin jest zagadnieniem znacznie trudniejszym z powodu stosowania mieszanin o różnej zawartości części stałych, co zostało wyjaśnione wcześniej. Wydaje się to jednak możliwe, jeśli odnieść wyniki czasu wiązania poszczególnych zawiesin do ich pierwotnej konsystencji. W tym celu przygotowano wykresy obrazujące czas do zakończenia wiązania w zależności od temperatury, osobno dla zawiesin o określonym udziale cementu w częściach stałych: 10, 20 i 30% (rys. 8–10). Zrezygnowano z zestawienia dla zawiesin bez dodatku cementu z uwagi na znaczne różnice w rozlewności. Koncentrowano się na tempe-

raturach 20 i 40°C, ponieważ w przypadku temperatur 60 i 80°C czas wiązania wszystkich zawiesin był do siebie zbliżony



Rys. 6. Czas wiązania zawiesin sporządzonych na bazie popiołu, lotnego (PL) z dodatkiem cementu wysokoglinowego (G) lub cementu portlandzkiego (C) w temperaturze 20 i 40°C

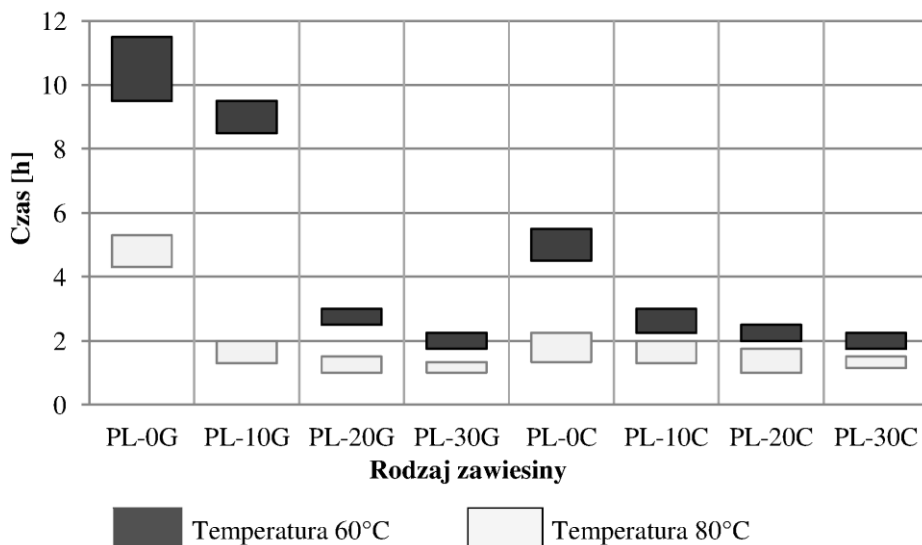
Fig. 6. Setting time of suspension prepared on the base of fly ash (PL) with addition of High Alumina Cement (G) or Portland Cement (C) in the temperature 20 and 40°C

W pierwszej kolejności porównano zawiesiny bazujące na popiele fluidalnym z udziałem 20% cementu, ponieważ w tym wypadku różnice w ich rozlewności były najmniejsze. W niższych temperaturach: 20 i 40°C, wiązanie zawiesin PF-20C trwało dłużej, pomimo tego, że charakteryzują się nieco wyższą rozlewnością oraz większą zawartością części stałych niż zawiesiny PF-20G. Podobną tendencję zauważyć można dla zawiesin PF-10 (10% cementu). Zakończenie wiązania zawiesin PF-10C oraz PF-10G jest do siebie bardzo zbliżone, pomimo znacznie większej rozlewności tej ostatniej. Tendencje te znajdują potwierdzenie również dla zawiesin, w których cement stanowił 30%. Ten przypadek jest jednak bardziej złożony, ponieważ znacznie dłuższy czas do zakończenia wiązania zawiesin z dodatkiem cementu CEM I (C) odpowiada również większej rozlewności PF-30C.

Tabela 2. Wyniki analizy regresji wielorakiej obliczone z wykorzystaniem oprogramowania STATISTICA

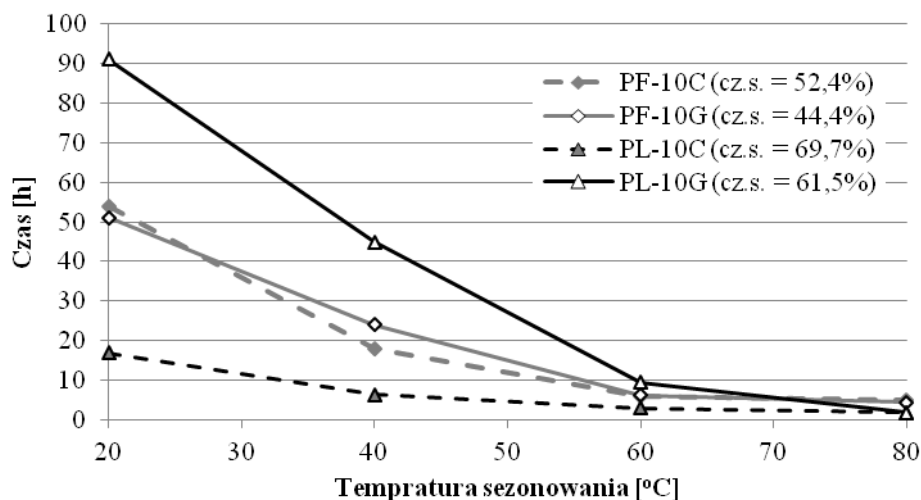
Table 2. The results of multiple regression analysis calculated using the software STATISTICA

Parametr równania regresji wielorakiej	Zawiesiny na bazie popiołu fluidalnego (PF)		Zawiesiny na bazie popiołu lotnego (PL)	
	Beta	B	Beta	B
Wyraz wolny równania	–	76,66	–	117,60
Udział cementu	-0,471	-1,038	-0,400	-0,959
Stosunek części stałych do wody s/w	-0,043	-7,017	-0,344	-26,296
Temperatura [°C]	-0,638	-0,702	-0,574	-0,688
Współczynnik korelacji R	0,794		0,7795	
Współczynnik determinacji R ²	0,6307		0,6075	



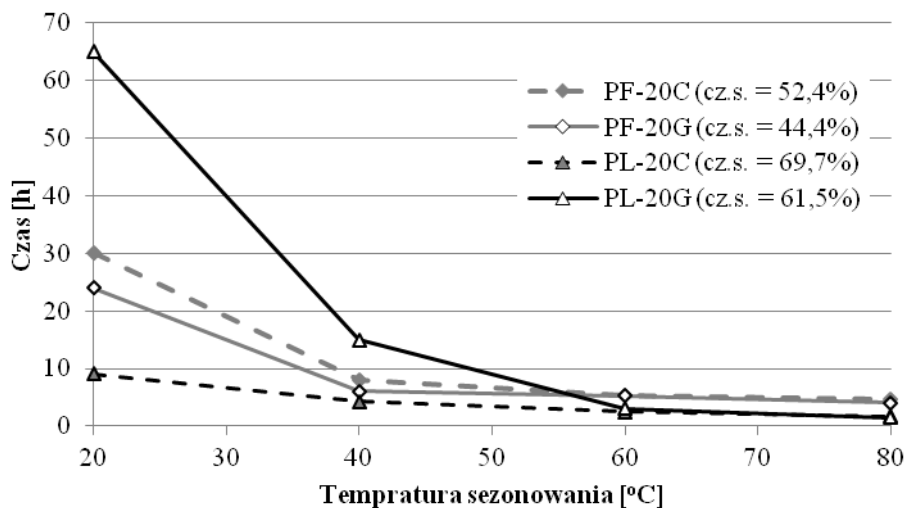
Rys. 7. Czas wiązania zawiesin sporządzonych na bazie popiołu, lotnego (PL) z dodatkiem cement wysokoglinowego (G) lub cementu portlandzkiego (C) w temperaturze 60 i 80°C

Fig. 7. Setting time of suspension prepared on the base of fly ash (PL) with addition of High Alumina Cement (G) or Portland Cement (C) in the temperature 60 and 80°C



Rys. 8. Czas do zakończenia wiązania zawiesin popiołowo-wodnych o zawartości cementu 10%

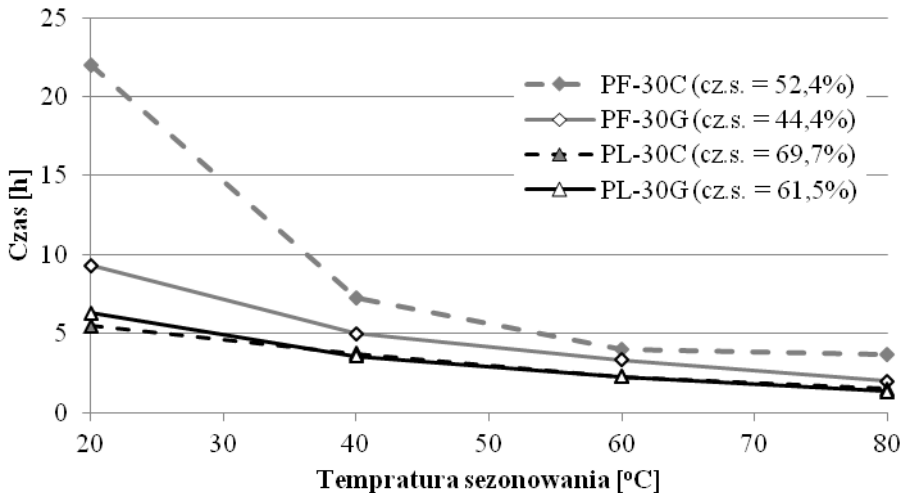
Fig. 8. The time to completion of setting ash-water suspension containing 10% cement



Rys. 9. Czas do zakończenia wiązania zawiesin popiołowo-wodnych o zawartości cementu 20%

Fig. 9. The time to completion of setting ash-water suspension containing 20% cement

Zawiesiny popiołu lotnego, w przeciwieństwie do wyżej omówionych, zarówno dla 10, jak i 20% udziału cementu, charakteryzowały się zdecydowanie różnymi czasami wiązania (rys. 8 i 9). Dłuższy czas do zakończenia zawiesin PL-10G oraz PL-20G jest tu dobrze skorelowany z większą rozlewnością oraz mniejszą zawartością części stałych. Jedynie dla zawiesin o najwyższym udziale cementu (30%) odnaleźć można ślady tendencji, tak wyraźnie zarysowanej dla popiołu fluidalnego. Rozlewność zawiesin PL-30, oraz ich czas do zakończenia wiązania w całym zakresie temperatur są niemal identyczne, przy niższej zawartości części stałych dla PL-30G.



Rys. 10. Czas do zakończenia wiązania zawiesin popiołowo-wodnych o zawartości cementu 30%

Fig. 10. The time to completion of setting ash-water suspension containing 30% cement

Na podstawie powyższej analizy można wyciągnąć wniosek o lepszym działaniu przyspieszającym wiązanie cementu wysokoglinowego (G). Jednocześnie należy podkreślić że świadczą za tym przede wszystkim wyniki czasu wiązania zawiesin przygotowanych w oparciu o popiół fluidalny.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań, uznano podwyższoną temperaturę za najważniejszy czynnik oddziałujący na proces wiązania zawiesin. O ile jednak podwyższenie temperatury do 40°C przyczyniało się do wyraźnego przyspieszenia wiązania jedynie części próbek zawiesin o charakterze spoiw (zawierających dodatek cementu), to sezonowanie w temperaturach 60 i 80°C, 12 h wystarczało, aby w podobnym czasie wiązały nawet zawiesiny bez dodatku cementu.

Do innych czynników wpływających na przyspieszenie i skrócenie czasu wiązania zaliczyć można: dodatek cementu i jego rodzaj (choć każdy z dwóch testowanych rodzajów powodował skrócenie całkowitego czasu wiązania, to jednak analiza wyników, przede wszystkim zawiesin PF wykazała nieco silniejsze, w tym aspekcie, działanie cementu wysokoglinowego), a także rodzaj popiołu, zawartość części stałych oraz rozlewność.

Z punktu widzenia aplikacyjności zawiesin popiołowo-wodnych należy zaznaczyć, opisane warunki sezonowania można spotkać nie tylko w zastosowaniach górniczych. Podobne warunki, szczególnie do temperatury 40°C, mogą towarzyszyć stosowaniu zawiesin w warunkach powierzchniowych, np. jako przesłon filtracyjnych czy innego typu uszczelnień.

Przyspieszenie procesu wiązania zawiesin może być zarówno korzystne jak i niekorzystne, w zależności od kierunków ich zastosowania. W większości przypadków skrócenie czasu całkowitego wiązania będzie zjawiskiem pożądanym, szczególnie tam, gdzie celem podawania zawiesin będzie wypełnienie, „sklejenie” czy uszczelnienie pustki lub gruzowiska. W takich wypadkach celowe mogłoby być stosowanie zawiesin o wysokiej rozlewności, łatwo transportowalnych rurociągiem, o dobrych właściwościach penetracyjnych, które jednocześnie charakteryzowałyby się przyspieszonym czasem wiązania w miejscu lokowania. Kiedy konieczny jest dłuższy czas sezonowania, w warunkach temperatur 60 do 80°C, zalecany jest wybór zawiesin o mniejszej zawartości części stałych. W analizowanych przypadkach najpóźniej kończyło się wiązania zawiesin na bazie popiołu fluidalnego, nawet wtedy, kiedy początkowa rozlewność zawiesin była mała – przykładem są tu zawiesiny PFG.

Niewątpliwie interesującym zagadnieniem jest wpływ takich warunków sezonowania na właściwości już zestalonych zawiesin, w szcze-

gólności na ich parametry wytrzymałościowe. Badania w tym zakresie są kontynuowane i będą przedmiotem kolejnych publikacji.

Przedstawione w artykule wyniki badań zostały opracowane w ramach realizacji projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N524 338240 pt.: Wpływ temperatury na właściwości zawieszin i spoiw stosowanych w profilaktyce pożarowej w kopalniach węgla kamiennego"

Literatura

1. **Brzozowski P.:** *Możliwości wykorzystania popiołów lotnych ze spalania w kotłach fluidalnych do betonów układanych pod wodą.* Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2, 5–11 (2011).
2. **Filipak J.:** *Popiół lotny w budownictwie. Badania wytrzymałościowe gruntów stabilizowanych mieszkanką popiołowo-cementową.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, 1043–1054 (2012).
3. **Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A.:** *Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce.* Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 21(1), 23–42 (2005).
4. **Mokrzycki E., Uliasz-Bocheńczyk A.:** *Gospodarka pierwotnymi nośnikami energii w Polsce a ochrona środowiska przyrodniczego.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 11, 103–131 (2009).
5. **Piotrowski Z., Pomykała R., Kanafek J.:** *The utilization of energy waste in Polish underground coalmines.* WOCA 2009 Proceeding, International Ash Utilization Symposia Series, CAER UK, Lexington, 2009
6. **Piotrowski Z., Uliasz-Bocheńczyk A.:** *Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów z kotłów fluidalnych.* Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 24(1), 73–85 (2008).
7. **Piotrowski Z.:** *Odzysk odpadów drobnofrakcyjnych w górnictwie podziemnym węgla kamiennego.* Archiwum Górnictwa, Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, 2011
8. **Pyssa J.:** *Odpady z energetyki – przemysłowe zagospodarowanie odpadów z kotłów fluidalnych.* Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 21(3), 83–92 (2005).
9. Rocznik Statystyczny – www.stat.gov.pl.
10. **Uliasz-Bocheńczyk A.:** *Możliwości zastosowania popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego w kotłach wodnych do sekwestracji CO₂ na drodze mineralnej karbonatyzacji.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 10, 567–574 (2008).

Effect of Temperature and Cement Additive on Setting Time of Fly Ash-water Suspensions

Abstract

This paper describes the tests properties of two-and three-component suspensions, prepared on the basis of fly ashes from the combustion of hard coal in conventional and fluidized bed boilers. The main objective of this study was to determine the effect of temperature on setting time of suspension, which differed in both the type of ash used, the total ratio of solids to water, cement content, as well as its type.

Studies on the effect of elevated temperature on the properties of fly ash-water suspensions and ash-water-cement suspensions were taken to determine the behavior of these mixtures under specific conditions characteristic for underground mines, where depending on the location, the temperature can significantly exceed 40°C, and the humidity is maintained at a level close to 100%.

Knowledge of the effect of elevated temperature on the setting time of fly ash-water suspensions with the addition of various types of cement may also be useful in other applications, and thus contribute to increase the range and efficiency of combustion by-products utilization. Similar conditions of the seasoning, particularly the temperature 40° C, may be accompanied by the application of suspensions in the surface engineering works, such for example cut-off walls or other type of filter seals.

The tests included setting time of suspensions prepared on the basis of fly ash contains desulfurization products (PR) and fly ash from fluidized bed (PF) with 10, 20 and 30% (by weight relative to the weight of solids) addition of Portland Cement (C) or High Alumina Cement (G). The samples were seasoned in standard and elevated temperature conditions. Compositions of mixtures were established at different amounts of ash and water.

Based on the test, it was indicated elevated temperature as the most important factor affecting the process of suspensions setting. Using of suspension with the addition of cement, that is, in fact, a binder mixture, should be taken into account that slightly elevated temperature can leading to significantly accelerate the setting process, but simultaneously it can also depend on other factors.