

Jan J. Hycnar

Ecocoal Consulting Center

Tomasz Szczygielski

IBS CIMA Politechnika Warszawska

Andrzej Kornacki

Polska Unia UPS

POPIOŁY FLUIDALNE JAKO SKŁADNIK MIESZANIN INŻYNIERYJNYCH

STRESZCZENIE

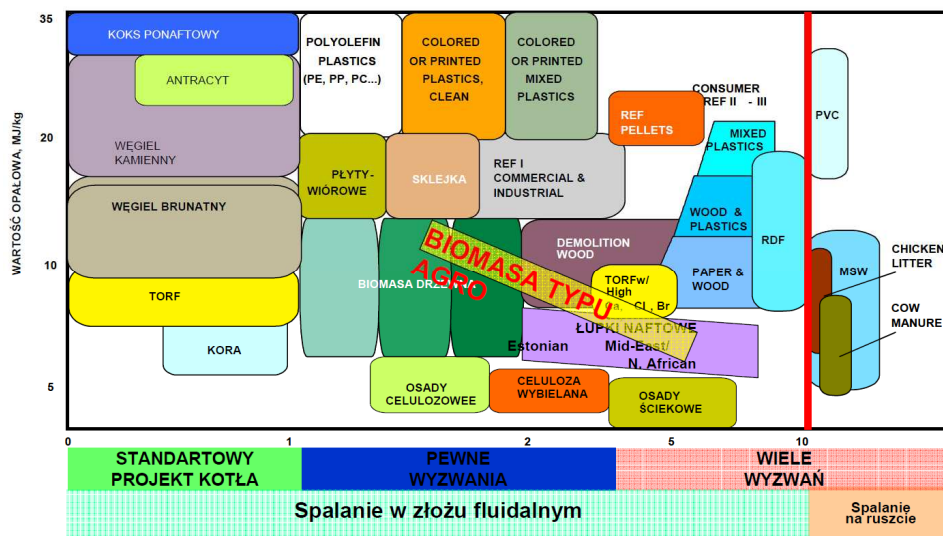
Technologia spalania fluidalnego wytwarza popioły znacznie różniące się od powstających w kotłach konwencjonalnych. Główną cechą popiołów fluidalnych jest obecność w nich produktów odsiarczania spalin oraz niewykorzystanego sorbentu, w połączeniu ze znacznie odmiennym składem mineralogicznym wynikającym ze znacznie niższej temperatury spalania. Popiół fluidalny ma wiele interesujących właściwości, z których najbardziej wybijają się jego stosunkowo duża aktywność chemiczna. Podczas gdy wiele potencjalnie obiecujących obszarów zagospodarowania tych popiołów nadal czeka na rozwinięcie, wydaje się ważne, żeby - nadal składując znaczną ich część - pozostawiać sobie możliwości przyszłego odzysku i wykorzystania zeskładowanych popiołów. Referat w końcowej części przygląda się kilku takim możliwościom, podając wybrane przykłady. W podsumowaniu zwraca uwagę, iż dotychczasowe badania skupiały się na usuwaniu uciążliwości popiołów fluidalnych, zaś obecne i przyszłe dotyczą ich zastosowań surowcowych.

1. CHARAKTERYSTYKA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH

Spośród wielu rodzajów ubocznych produktów spalania węgla, popioły lotne i denne z palenisk fluidalnych wyróżniają się swoim składem fizycznym i chemicznym oraz właściwościami fizykochemicznymi.

Proces fluidalny umożliwia spalanie wszelkiego rodzaju materiałów wydzielających ciepło w reakcji z tlenem powietrza, różniących się

w szerokim zakresie kalorycznością – rysunek 1. Oznacza to, że stałe produkty spalania będą się odpowiednio zmieniały, ilościowo i jakościowo. Już w niedalekiej przyszłości należy spodziewać się wzbogacenia dotychczasowych paliw, paliwami alternatywnymi.



Rys. 1. Charakterystyka paliw do spalania w paleniskach fluidalnych. Na podstawie [1]

W niniejszej analizie ograniczono się do produktów spalania węgla i odpadów węglowych oraz ich mieszanin, ewentualnie z biomasą. Należy jednak wspomnieć, że coraz częściej oprócz popiołów lotnych i dennych będziemy mieli do czynienia z gipsem z instalacji odsiarczania spalin na kotłach fluidalnych [2] oraz mieszaniną popiołów fluidalnych z gipsem [3].

Możliwość jednoczesnego spalania paliw i odsiarczania spalin, poprzez dodatek wapienia i utrzymywanie reżimu temperaturowego złoża (850–950 °C), w istotny sposób oddziałuje na skład fizyczny i chemiczny popiołów fluidalnych – co ilustrują dane w tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Charakterystyka różnic składu chemicznego popiołów lotnych z kotłów pyłowych i fluidalnych na przykładzie Elektrowni Turów [4,5]

Rodzaj składnika	Zawartość składników, %		
	Kotły pyłowe		Kotły fluidalne
	średnia zawartość składników	graniczne zawartości składników	
SiO ₂	50,0	45,0÷52,0	36,26 - 42,75
Al ₂ O ₃	32,0	30,0÷35,0	22,43 - 27,24
Fe ₂ O ₃	12,0	5,0÷18,0	2,75 - 4,46
CaO	2,0	1,5÷2,5	12,75 - 18,61
CaO _{wolne}	-	-	2,81 - 4,72
MgO	1,5	1,0÷2,0	1,14 - 2,22
SO ₃	0,5	0,2÷1,0	4,00 - 5,16
Na ₂ O + K ₂ O	2,0	1,5÷3,0	-
Straty prażenia			1,34 - 2,68
Cl			0,008 - 0,01

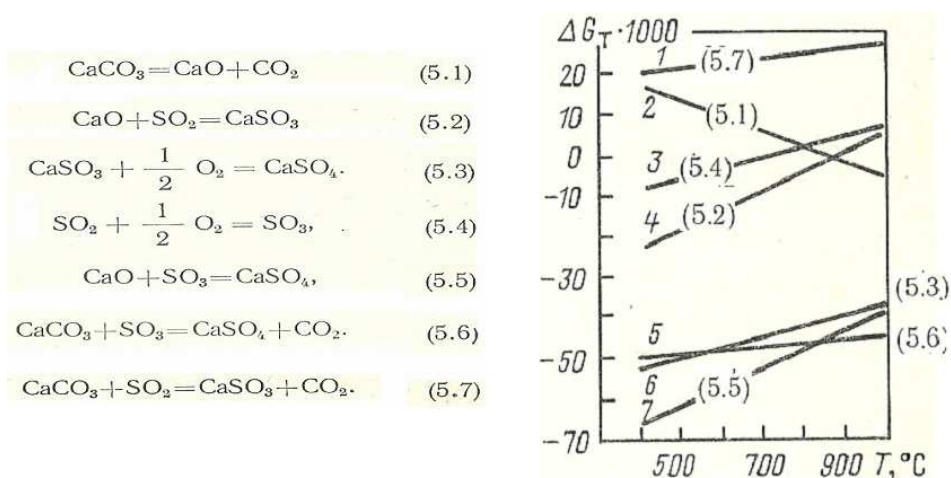
Tabela 2. Charakterystyka różnic składu mineralogicznego popiołów lotnych z kotłów pyłowych i fluidalnych na przykładzie Elektrowni Turów [4,5]

Składnik	Popiół lotny z kotła fluidalnego	Popiół lotny z kotła pyłowego
Substancja szklista	0	<50
Mullit	0	~20
Amorficzna substancja glinokrzemianowa	++	+
Materiały ilaste (glina, łupek)	+	0
Wapno nieaktywne	0	+
Wapno reaktywne	++	m.
Peryklaz	m+	+
Magnetyt	+	+
Anhydryt	++	+
Kalcyt	m	m
Kwarc	++	+
Nie spalony węgiel	+	+

Oznaczenia: ++ składnik główny, + składnik drugorzędny, m+ - składnik podrzędny, m - składnik występujący w ilościach śladowych, 0 - nie występuje

W popiołach fluidalnych z 2007–2008 roku stwierdzono obecność w fazie bezpostaciowej wiązanej z rozkładem minerałów ilastych obecność metakaolinitu w ilości średnio 79,1 % (min. 71,9, max. 83,7 %) [5].

Miarą skuteczności odsiarczania spalin i aktywności zastosowanego wapienia jest wskaźnik reaktywności „RI” podający stosunek Ca do S i wskaźnik sorpcji bezwzględnej „CI” podający ilość siarki związanej przez wapień (g S/kg). Czym mniejsza chemoreaktywność wapieni, tym większa ilość związków wapnia w popiołach fluidalnych. W zależności od przebiegu reakcji wiązania SO₂, uboczne produkty znacząco się różnią zawartością i rodzajem zawartych związków wapnia – rysunek 2.



Rysunek 2. Schemat przebiegu reakcji chemicznych odsiarczania spalin za pomocą wapienia w zależności od temperatury procesu [6]

Utrzymanie reżimu temperaturowego również w istotny sposób wpływa na skład i zawartość poszczególnych związków wapnia. Wpływ natomiast temperatury na skład mineralogiczny najlepiej obserwować na różnicach występujących w popiołach lotnych z palenisk pyłowych i fluidalnych – tabela 2.

Generalnie przyjmuje się, że występowanie w popiołach fluidalnych siarczanów, chlorków i tlenku wapnia jest uzasadnione, natomiast ilość i występowanie pozostałych związków wapnia jest, co najmniej dyskusyjne.

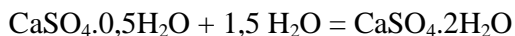
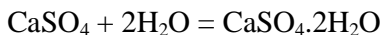
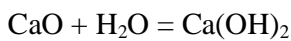
W porównaniu do większości popiołów lotnych i żużli (popiołów dennych) z procesów spalania węgla w paleniskach warstwowych (rusztowych) i pyłowych, popioły fluidalne wyróżniają się zawartością:

- **CaO**, produkt rozkładu kalcytu (węglanu wapnia), który nie zdążył przereagować lub stanowi nadmiar względem SO₂, Cl₂ itp.;
- **CaSO₄**, produkt reakcji tlenku wapnia z SO₂ i O₂;
- **CaSO₄•0,5H₂O**, produkt reakcji tlenku wapnia z SO₂, O₂ i H₂O;
- **CaCO₃**, nieprzereagowany wapień.

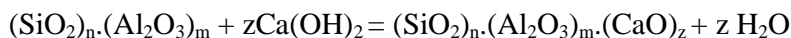
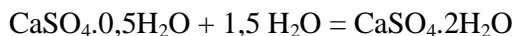
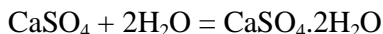
W zależności od ilościowego udziału wymienionych składników, popioły fluidalne uzyskują adekwatne właściwości fizyczne i chemiczne, interesujące z punktu widzenia ich wykorzystania/zagospodarowania.

Zawarte składniki aktywne w popiołach fluidalnych w obecności wody ulegają szeregom reakcji chemicznych, oddziaływujących natychmiast i także w dłuższym okresie czasu na zachodzenie procesów ich utwardzania/zestalenia. Przebieg procesów ich petryfikacji można w sposób uproszczony przedstawić następującymi reakcjami chemicznymi:

- Etap szybkich reakcji chemicznych z wodą (wzrost temperatury):



- Etap wolniejszych reakcji chemicznych z wodą, CO₂ i glinokrzemianami:



Większość tych przemian jest charakterystyczna dla przebiegu reakcji chemicznych w materiałach budowlanych prowadzących do tworzenia zeskalonych tworzyw, w wyniku reakcji z wodą i pozostałymi składnikami mieszanin. Popioły fluidalne z wodą i produktami ich hydrolizy oraz zachodzącymi reakcjami hydraulicznymi i pucolanowymi prowadzą do

zeskalania różnych mieszanek materiałów, jak również mogą powodować samozwiązanie popiołów prowadzące do ich petryfikacji.

Alkaliczne właściwości popiołów fluidalnych są użyteczne także do neutralizacji kwaśnych cieków i ścieków oraz agresywnych odpadów przemysłowych.

Oprócz możliwości wykorzystania chemicznie aktywnych składników popiołów fluidalnych znane są i częściowo wdrożone metody ich klasyfikacji ziarnowej dla wydzielania kruszyw i koncentratów wapniowych oraz stosowanie ich do odwadniania i stabilizacji silnie nawodnionych, trudnych do odwodnienia mułów (szlamów) i emulsji wodno-olejowych.

Wielorakie, wieloletnie badania popiołów fluidalnych nie tylko potwierdziły ich specyficzny skład i właściwości, ale również przyczyniły się do uzyskania szeregu aprobat i masowego ich zastosowania w przemyśle i gospodarce, a w szczególności w robotach inżynierskich. Stan i potencjalne możliwości zagospodarowania popiołów fluidalnych ilustruje tabela 3. W dalszej części analizy, zostaną omówione tylko doświadczenia ostatnich lat i rozważania jak zabezpieczyć niezagospodarowane popioły fluidalne dla przyszłościowego ich racjonalnego zagospodarowania.

Tabela 3. Kierunki badań i zagospodarowania popiołów fluidalnych

L.p.	Popiół fluidalny - Uwzględniana właściwość	Kierunki zastosowań	Przykłady zastosowań
1.	Popioły denne:	Popioły denne:	
1.1.	– różnice w składzie ziarnowym	– kruszywa sztuczne – koncentraty związków wapnia	drogownictwo energetyka, rolnictwo
1.2.	– wysoka wodożądność	– błoto refuler muły węglowe – emulsje wodno-olejowe	roboty inżynierskie rafinerie nafty itp.
1.3.	– wysoka alkaliczność	– neutralizacja kwaśnych ścieków – deaktywacja kwaśnych odpadów	kopalnie, chemia rafinerie nafty itp.
1.4.	– hydrauliczne i pucolanową	– klinkier – spoiwa popiołowo-cementowe – cement hutniczo-popiołowy (40%)	cementownie budownictwo, górnictwo,
1.5.	– inne	– spoiwa bezcementowe – melioracja i wapniowanie gleb	cementownie roboty inżynierskie rolnictwo, leśnictwo, ogrodnictwo

2.	Popiół lotny:		
2.1.	– różnice w składzie ziarnowym	– koncentraty związków wapnia – refuler, muły węglowe	energetyka, rolnictwo, roboty inżynierskie, górnictwo,
2.2.	– wysoka wodozadržność		
2.3.	– wysoka alkaliczność	– emulsje wodno-olejowe – neutralizacja kwaśnych ścieków – dezaktywacja kwaśnych odpadów	rafinerie, nafty itp. kopalnie, chemia, rafinerie nafty itp.
2.4.	– hydrauliczne i pucolanową	– klinkier – cement hutniczo-popiołowy (40%) – spoiwa popiołowo-cementowe – spoiwa bezcementowe – autoklawizowany beton komórkowy	cementownie cementownie budownictwo, roboty inżynierskie. budownictwo budownictwo
2.5.	– inne	– kruszywa autoklawizowane – melioracja i wapniowanie lekkich gleb	roboty inżynierskie ogrodnictwo
3.	Popioły denne + lotne		
3.1.	– jak zakres 1 i 2	– jak zakres 1 i 2	jak zakres 1 i 2
3.2.	– zeskalanie	– kruszywa łamane, granulowane, brykietowane	rezerwy surowcowe, bezpieczne składowanie
4.	Popioły fluidalne + gips		
4.1.	– hydrauliczne i pucolanową	– klinkier – spoiwa – autoklawizowany beton komórkowy	cementownie budownictwo, górnictwo, budownictwo
4.2.	– inne	– kruszywa – melioracja i wapniowanie lekkich gleb	roboty inżynierskie, rolnictwo, rezerwy surowcowe, bezpieczne składowanie
4.3.	– zeskalanie	– kruszywa łamane, granulowane, brykietowane	

2. PRZYKŁADY MASOWEGO ZAGOSPODAROWANIA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH

Popioły fluidalne w największych ilościach są zagospodarowywane w realizacji obiektów inżynierskich i hydrotechnicznych, jakimi są budowy autostrad i dróg; budowy i wzmacniania obwałowań rzek, wzmacniania konstrukcji i rekultywacji składowisk odpadów górniczych oraz wzmacniania i uszczelniania (izolowania) wyrobisk górniczych.

Popioły fluidalne z bieżącej produkcji stosowane są w wymienionych robotach w postaci spoiw, mieszanin spoiwowo-kruszywowych oraz mieszanin o specjalnym przeznaczeniu. Zdeponowane popioły lotne na składowiskach, szczególnie „zgaszone” wodą, nadają się także jako zamiennik mas ziemnych oraz składnik do korygowania składu ziarnowego i wilgotności mieszanek na budowie inżynierskiej.

Popioły fluidalne charakteryzują się znaczną zawartością składników aktywnych oznaczanych jako aktywna krzemionka ($\text{SiO}_{2\text{akt}}$) i tlenek glinu ($\text{Al}_2\text{O}_{3\text{akt}}$) oraz właściwościami pucolanowymi, suma tych właściwości decyduje o ich właściwościach wiążących. Większość wytwarzanych spoiw oparta jest o aktywację mechaniczną lub/i chemiczną popiołów fluidalnych [7,8,9]. Jednocześnie z opisami zalet stosowania niskoemisyjnych spoiw z udziałem popiołów fluidalnych toczy się szeroka dyskusja nie tylko w kraju, ale również zagranicą na temat powstawania ettringitu i destruktywnego jego oddziaływania na wytworzone tworzywa budowlane [10,11].

Znaczne ilości popiołów fluidalnych (w tym spoiw popiołowych) jest składnikiem mieszanek spoiwowo-kruszywowych wytwarzanych na bazie kruszyw naturalnych i sztucznych. W ostatnich latach, w ten sposób zagospodarowano duże ilości refulatów [12] i odpadów górniczych do budowy autostrad i dróg [13,14].

Najnowszym rozwiązaniem jest wdrożenie do praktyki przemysłowej granulowania mułów węglowych z bieżącej produkcji z dodatkiem popiołów fluidalnych przeznaczonych dla wzmacniania i uszczelniania między innymi hałd odpadów górniczych [15].

3. KONCEPCJE ZABEZPIECZENIA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH JAKO PRZYSZŁOŚCIOWYCH SUROWCÓW MINERALNYCH

Stan zagospodarowania popiołów fluidalnych zależy w dużym stopniu nie tylko od rozeznania ich właściwości, ale także od aktualnego rozwoju gospodarki i zmieniających się potrzeb surowcowych i materiałowych.

Problemy racjonalnego zagospodarowania popiołów fluidalnych się piętrzą w miarę spadku budownictwa inżynieryjnego, spadku wydobywania węgla itd. Opracowanie nowych i intensyfikacja niektórych dotychczasowych kierunków wykorzystania popiołów fluidalnych staje się jednym z ważnych przedsięwzięć gospodarczych.

Niezagospodarowane popioły fluidalne mogą być uciążliwe dla środowiska, gdyż składowane na otwartych przestrzeniach ulegają erozji powietrznej i wodnej. Granulowanie popiołów fluidalnych powoduje znaczące zmniejszenie całkowitej substancji rozpuszczonej (TDS) w wodzie i siarczanów, jak również innych składników.

Rozwiązaniem tych sprzecznych sytuacji może być zmiana struktury pylastej i drobnoziarnistej popiołów fluidalnych w struktury scalone, zeskalone. Technologia od wielu lat znana, częściowo zweryfikowana w skali przemysłowej na przykładzie popiołów rodzaju wapniowego (El. Pątnów – granulata dla rolnictwa; El. Bełchatów – aglomerowanie popiołów dla przeciwdziałaniu pyleniu) i popiołów fluidalnych (ZF Polpharm SA – kruszywo naparzone Stargran). Niestety żadna z tych instalacji obecnie nie pracuje.

Dotychczasowe doświadczenia krajowe i zagraniczne, w zakresie zeskalania popiołów fluidalnych, wskazują na możliwości praktycznego zastosowania następujących technologii:

- selektywnego wydzielania frakcji kruszywowych z popiołów dennych;
- dokruszania zdeponowanych suspensji (zawiesin) popiołowodnych i klasyfikacji ziarnowej otrzymanego rumoszu;
- granulowania pylastych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych;
- brykietowania pylastych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych.

Wybór technologii zeskalania popiołów fluidalnych zależy od wielu czynników, w tym od:

- składu chemicznego i fizycznego oraz właściwości materiałów podlegających zeskalaniu;
- rozwiązania układu transportu i magazynowania popiołów fluidalnych;
- wielkości produkcji i zagospodarowania popiołów fluidalnych;
- określenia celu zeskalania popiołów fluidalnych;
- sposobu zagospodarowania zeskalonych popiołów fluidalnych.

Dotychczasowe badania i wdrożenia zeskalania popiołów fluidalnych przeznaczone były/są do ograniczenia/wyeliminowania ich pylenia (erozja wietrzna) i wymywania składników rozpuszczalnych w wodzie (erozja wodna) oraz nadania im nowych/dodatkowych właściwości, umożliwiających ich zastosowanie, jako kruszywa sztucznego lub/i naparzanego.

3.1. Selektywne wydzielanie frakcji kruszywowej z popiołów dennych

Badania popiołów dennych wykazują, że w zależności od uziarnienia poszczególne frakcje ziarnowe bardzo różnią się składem chemicznym i fizycznym. Zazwyczaj frakcje ziarnowe poniżej 2 lub 4 mm stanowią mączkę związków wapiennych. Z tego względu, w niektórych konstrukcjach kotłów fluidalnych odbierany popiół denny jest przesiewany, wydzielona mączka zawracana jest do paleniska fluidalnego.

Nadziarno zazwyczaj stanowi spiek glinokrzemianowy, spełniający wymagania na kruszywa spiekane o właściwościach kruszyw lekkich lub średnich [16,17]. Ilość wydzielanego kruszywa stanowi zazwyczaj 15 do 30 % ilości popiołów fluidalnych.

Rozwiązanie takie jest również bardzo korzystne dla elektrowni, nie tylko z tytułu odzysku odpadu, ale również z wyeliminowania kłopotliwych popiołów dennych w transporcie pneumatycznym.

3.2. Dokruszanie zdeponowanych suspensji popiołowo-wodnych

Technologia wytwarzania, transportu i składowania popiołów fluidalnych w postaci silnie zagęszczonej pulpy, niewydzielającej wody nadmiarowej, pozwala na szybkie jej zeskalenie. Zdeponowana pulpa, zawierająca popioły, które uległy hydratacji, zazwyczaj już po 24 godzinach jest konsystencji stałej, ulegającej dalszemu zeskaleniu (głównie karbonizacji).

Wymieniona technologia została zastosowana w elektrowni na Florydzie do składowania popiołów fluidalnych i wytwarzania kruszywa drogowego [18,19].

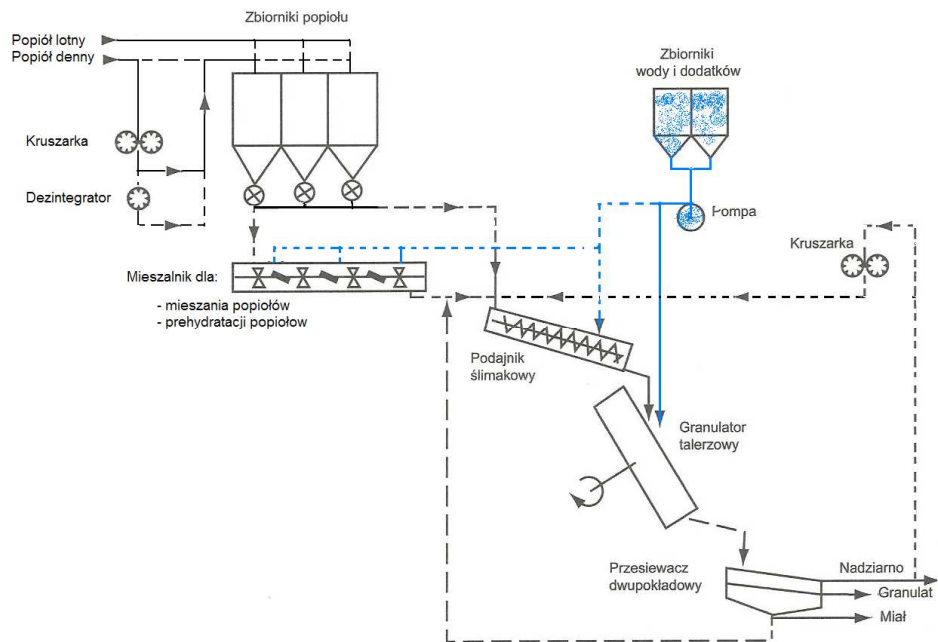
W kraju znany jest również patent na wytwarzanie materiału podsadzkowego poprzez sporządzanie pulpy popiołowo-wodnej, ewentualnie z dodatkiem z cementu, rozlewanej na płaskie powierzchnie i po utwardzeniu podlegającej rozkruszaniu oraz klasyfikacji ziarnowej, zgodnie z wymogami zastosowania.

3.3. Granulowanie pylastych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych

W procesie odśrodkowego zwilżania pyłów dochodzi do zjawiska upakowania ziaren i tworzenia rozrastających się aglomeratów, prowadzących do tworzenia granul (granulatów) o zróżnicowanych średnicach i najczęściej zbliżonych swoim kształtem do kul. Środek zwilżający (w przypadku popiołów woda) stanowi źródło sił adhezyjnych i tworzenia otoczek wokół ziaren oraz ich sklejanie. Właściwy stosunek środka nawilżającego do materiału aglomerowanego i występowanie składników chemicznie aktywnych (CaO , $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) prowadzi nie tylko do zachodzenia aglomeracji, ale jednocześnie do utrwalania (zeskalania) powstałych granul [20].

Zachodzące reakcje uwodnienia działają w pierwszej kolejności jako lepiszcze dla ziaren popiołów, a następnie jako spoiwo procesów scalania. Natomiast, powstały wodorotlenek wapnia „po spełnieniu roli spoiwa” ulegając reakcji karbonizacji z dwutlenkiem węgla tworzy kalcyt, utrwalając wewnętrzną strukturę scalanych tworzyw. Z tych to względów ważnym jest proces ich sezonowania powodujący wzrost wytrzymałości mechanicznej tworzyw. Dłuższe sezonowanie może prowadzić także do zachodzenia reakcji pucolanowych z glinokrzemianami zawartymi w popiołach, dodatkowo utwardzającej tworzywa popiołowe. Właściwości fizykochemiczne i mechaniczne granulatów mogą być dodatkowo regulowane poprzez dozowanie spoiw (cement, wapno palone itp.) do wsadu lub na powierzchnię otrzymywanych granul (pudrowanie).

Schemat typowych instalacji granulowania pylastych i drobnoziarnistych popiołów ilustruje rysunek 3. Proces granulowania popiołów lotnych najczęściej jest prowadzony w granulatorach talerzowych, w mniejszym stopniu w granulatorach bębnowych. W ostatnich latach coraz częściej do granulowania stosowane są mieszalniki intensywnego działania. Stosowanie mieszalników intensywnego mieszania podyktowane jest dużą ich wydajnością (nawet 10-ciokrotną w przeliczeniu na jednostkę mocy lub masę granulatorów talerzowych), ale niestety najczęściej otrzymywany granul charakteryzuje się mniejszą wytrzymałością mechaniczną i dość nieregularnym kształtem – rysunek 4.



Rys. 3. Schemat ideowy instalacji do granulowania/brykietowania popiołów fluidalnych



Rys. 4. Wygląd zeskalonych pylistych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych i rea-gipsu (źródło: T. Józefiak; N.M. Jackson; własne)

Zdobyte doświadczenia przy granulowaniu popiołów fluidalnych wskazują na celowość ujednoczenia ich składu ziarnowego, z tendencją tworzenia stosu ziarnowego. Przy takim założeniu, popiół denny i w zależności od udziału i uziarnienia popiołu odbieranego z ciągu

konwencyjnego (przed elektrofiltrami) nieodzowne jest ich domielanie. W przypadkach, kiedy do dyspozycji posiadamy mieszaniny popiołu dennego z popiołem lotnym, cała mieszanina musi podlegać domielaniu, co najczęściej jest również korzystnym dla wytrzymałości mechanicznej granulatu [20]. Wykonane badania potwierdzają możliwość samowiązania się popiołów fluidalnych, co oznacza, że przy odpowiedniej obróbce popiołów fluidalnych i dodawaniu wody będą zachodziły procesy ich aglomeracji, prowadzące do tworzenia granulatu z popiołów fluidalnych.

W oparciu o dokonywane badania nad granulowaniem popiołów lotnych opracowano również technologię granulowania mieszanin produktów odsiarczania spalin z popiołami lotnymi [21] oraz granulowania odpadów górniczych z popiołami fluidalnymi [22], jako materiałów bezpiecznych do składowania w środowisku i ew. przyszłościowego wykorzystania jako odpowiedników mas ziemnych i kruszyw naturalnych. Jak już wcześniej wspomniano, do wytwarzania kruszywa budowlanego (Stargran), zastosowano proces granulowania popiołów fluidalnych i ich naparzenie [23].

3.4. Brykietowanie pylastych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych

Do zestalania/zeskalania pylastych popiołów fluidalnych i wytwarzania z nich kruszyw z powrotem można stosować proces brykietowania [24]. Praktycznie został zastosowany w niemieckiej energetyce dla zagospodarowania niezagospodarowanego rea-gipsu [25].

Z pośród zalet stosowania brykieciarek należy wymienić duże ich wydajności jednostkowe oraz możliwości regulowania kształtów brykietów i łatwe przystosowanie ich do wymogów użytkowników – rysunek 4. Procesy brykietowania należą do stosunkowo drogiej technologii zeskalania materiałów pylastych i drobnoziarnistych. Zazwyczaj wybór technologii brykietowania podyktowany jest wysokimi wymogami na produkt brykietowania. Prezentowane wyniki badań brykietów z popiołów lotnych wykazały wysoką ich wytrzymałość na ściskanie i potencjalną przydatność jako kruszywa budowlane [25]. Instalacje do brykietowania są podobne do instalacji granulowania z tym, że granulatory zastępowane są brykieciarkami – rys. 3, większych natomiast zmian wymaga technologia przygotowania wsadu.

4. PODSUMOWANIE

W porównaniu do większości popiołów lotnych i żużli (popiołów dennych) z procesów spalania węgla w paleniskach warstwowych (rusztowych) i pyłowych, popioły fluidalne wyróżniają się zawartością: CaO, CaSO₄, CaSO₄•0,5H₂O i CaCO₃. W zależności od ilościowego udziału składników, popioły fluidalne uzyskują adekwatne właściwości fizyczne i chemiczne, interesujące z punktu widzenia ich wykorzystania/zagospodarowania.

Popioły fluidalne z wodą i produktami ich hydrolizy oraz zachodzącymi reakcjami hydraulicznymi i pucolanowymi prowadzą do zeskalania różnych mieszanek materiałów, jak również mogą powodować samozwiązanie popiołów prowadzące do ich petryfikacji.

Oprócz możliwości wykorzystania chemicznie aktywnych składników popiołów fluidalnych znane są i częściowo wdrożone metody ich klasyfikacji ziarnowej dla wydzielania kruszyw i koncentratów wapniowych oraz stosowanie ich do odwadniania i stabilizacji silnie nawodnionych, trudnych do odwodnienia mułów (szlamów) i emulsji wodno-olejowych.

Badania popiołów fluidalnych nie tylko potwierdziły ich specyficzny skład i właściwości, ale również przyczyniły się do uzyskania szeregu aprobat i masowego ich zastosowania w realizacji budowy autostrad i dróg; budowy i wzmacniania obwałowań rzek, wzmacniania konstrukcji i rekultywacji składowisk odpadów górniczych oraz wzmacniania i uszczelniania (izolowania) wyrobisk górniczych.

Popioły fluidalne z bieżącej produkcji stosowane są w postaci spoiw, mieszanin spoiwowo-kruszywowych oraz mieszanin o specjalnym przeznaczeniu. Zdeponowane popioły lotne na składowiskach, nadają się także, jako zamiennik mas ziemnych oraz jako składnik do korygowania składu ziarnowego i wilgotności mieszanek.

Stan zagospodarowania popiołów fluidalnych zależy w dużym stopniu od aktualnego rozwoju gospodarki i zmieniających się potrzeb surowcowych i materiałowych. Problemy racjonalnego zagospodarowania popiołów fluidalnych się piętrzą w miarę spadku budownictwa inżynierskiego, spadku wydobywania węgla itd. Opracowanie nowych i intensyfikacja niektórych dotychczasowych kierunków wykorzystania popiołów fluidalnych staje się jednym z ważnych przedsięwzięć gospodarczych.

Coraz szerzej stosowane są do produkcji materiałów iniekcyjnych i mieszanek z gruntem stosowanych do budowy przestroni wodoszczelnych w wałach przeciwpowodziowych i wzmacniania gruntu.

Niezagospodarowane popioły fluidalne i składowane w sposób niezabezpieczony mogą oddziaływać na środowisko, gdyż ulegając erozji powietrznej i wodnej mogą zanieczyszczać atmosferę, wodę i glebę.

Rozwiązaniem tych sprzecznych sytuacji może być zmiana struktury pylastej i drobnoziarnistej popiołów fluidalnych w struktury scalone, zeskalone. Doświadczenia krajowe i zagraniczne, wskazują na możliwości praktycznego zastosowania następujących technologii:

- selektywnego wydzielania frakcji kruszywowych z popiołów dennych;
- dokruszania zdeponowanych suspensji (zawiesin) popiołowo-wodnych i klasyfikacji ziarnowej otrzymanego rumoszu;
- granulowania pylastych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych;
- brykietowania pylastych i drobnoziarnistych popiołów fluidalnych.

Dotychczasowe badania i wdrożenia zeskalania popiołów fluidalnych przeznaczone były/są do ograniczenia/wyeliminowania ich pylenia (erozja wietrzna) i wymywania składników rozpuszczalnych w wodzie (erozja wodna). Aktualne prace zmierzają do nadania im nowych/dodatkowych właściwości, umożliwiających ich zastosowanie jako kruszywa sztucznego oraz tworzenia magazynów przyszlnościowych surowców.

LITERATURA

- [1] Ćwieląg J.: Kotły Foster Wheeler’a do spalania biomasy – aktualny stan i perspektywy rozwojowe. Forum Technologii w Energetyce – Spalanie Biomasy. Bełchatów, 27–28.10.2011
- [2] Elektrownia Turów – będzie mniej emisji tlenków siarki. PGE GiEK SA. EiP on line. Aktualności, lipiec 10.2014
- [3] Yabing Jiang, Muh-Cheng M. Wu, Qingfa Su, Maoyuan Liu, Chiqian Lin: Dry CFB-FGD by-product utilization – International Prospectives. 2011 World of Coal Ash (WOCA) Conference – May 9–12 in Denver, Co. USA
- [4] Kabała J., Listkiewicz J.: Aktywowane i nieprzetworzone popioły lotne z kotłów fluidalnych Elektrowni Turów SA w drogownictwie. Sem. Tech. „Popioły w Drogownictwie. Licheń Stary 10–12 grudnia 2003
- [5] Giergiczny A.: Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości spoiw budowlanych i tworzyw cementowych. Politechnika Krakowska. Kraków 2006
- [6] Borodula W.A., Winogradow Ł.M.: Sziganie twiordowo topliwa w psewdoożiżenoi słoje. Nauka i Tiechnika. Mińsk 1980
- [7] Glinicki M.A.: Zastosowanie aktywowanego popiołu lotnego z kotłów o spalaniu fluidalnym Flubet[®] jako dodatku do betonów. <http://www.lubanta.com.pl>

- [8] Szczygielski T., Hycnar J.J., Becker Z.: Popioły fluidalne. PU UPS. Warszawa 2011
- [9] Szczygielski T.: Przyczynki do zielonej geotechniki. Gdańsk 14.06.2011
- [10] Bulewicz E.,M., Dudek K., Góra D.: Własności popiołów z palenisk fluidalnych – wpływ prehydratacji. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów 1999, nr 4
- [11] Rajczyk K.: Popioły lotne z kotłów fluidalnych możliwość ich uszlachetniania. Opole 2012
- [12] Nasypy dróg dojazdowych do Mostu Północnego w Warszawie.
- [13] Popioły fluidalne w praktyce gospodarczej firmy Ekotech-Centrum. Warszawa 15.09. 2011
- [14] Wróbel J., Fraś A., Przysaś R., Hycnar J.J., Tora B.: Uboczne produkty wzbogacania węgla źródłem paliw i kruszyw. Karbo 2013, nr 3
- [15] Sposób otrzymywania stałej mieszanki paliwowe. Patent 217074; 2009.10.26
- [16] Gawęda A., Walkowicz J., Teper E.: Cechy petrograficzno-geochemiczne popiołów dennych z palenisk fluidalnych oraz możliwości ich wykorzystania. Popioły z Energetyki. Sopot 24-26 października 2012
- [17] Gawęda A., Walkowicz J., Szopa K., Szwajda P., Krzykowski T.: Zastosowanie praktyczne popiołów dennych z kotła fluidalnego elektrowni „Łagisza” – spojrzenie z dystansu. Popioły z Energetyki. Warszawa, 23–25 października 2013
- [18] Jackson N.M., Mack R., Schulz S., Malek M.: Pavement subgrade stabilization and construction using bed and fly ash. 2007 World of Coal Ash (WOCA), May 7-10, Northern Kentucky, USA
- [19] Jackson N.M., Schultz, S., and Schopp, L., "Blended CFB Ash and Limestone Base Course," 2009 World of Coal Ash (WOCA), May 4-7, Lexington, Ky, USA
- [20] Hycnar J.J.: Czynniki wpływające na właściwości fizykochemiczne i użytkowe stałych produktów spalania paliw w paleniskach fluidalnych. Wyd. Górnicze. Katowice 2006
- [21] Hycnar J.: Storage and utilization of solid flue gas desulphurization by-product. Seminar on Impact of Atmospheric Protection Measures on Thermal Power Stations. ON. Essen, 1988 September 19-21
- [22] Hycnar J.J., Fraś A., Przysaś R., Józefiak T., Baic I.: Zastosowanie popiołów fluidalnych do granulowania mułów węglowych. P&B 2012, nr 2
- [23] Jarema-Suchorowska S.: Wyniki prac Energopomiaru nad granulacją talerzową odpadów przemysłowych. Energetyka 2001, nr 10
- [24] Borowski G.: Wykorzystanie brykietowania do zagospodarowania odpadów. Lublin 2011
- [25] Hycnar J.J.: Stan i perspektywy zagospodarowania produktów poreakcyjnych z odsiarczania spalin za pomocą związków wapnia. Energetyka 1991, nr 6

FBC ASH AS A CONSTITUENT OF GEOTECHNICAL MIXTURES

ABSTRACT

FBC technology allows for using a wider range of fuels for power generation, but produces much different types of ash than arising from the conventional boilers. The main feature of FBC ash is the presence of the products of desulfurization process and unused residues of a sorbent, coupled with much different mineralogical composition resulting from a significantly lower combustion temperature. FBC ash has several interesting properties, of which a relatively high chemical reactivity is most prominent. While many potentially promising areas of utilization still wait to be explored, it seems important, that while landfilling still a major portion of arising FBC ash, we leave as many avenues as possible for the future reclamation and use of the deposited ash. The paper finally explores several such avenues giving select examples of each such approach. In conclusion it is pointed out, that the historic research concentrated on elimination of unwanted impacts of FBC ash, while the current and future efforts will deal with resource applications.
