

Andrzej OBRANIAK

e-mail: obraniak@wipos.p.lodz.pl

Katedra Aparatury Procesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Granulacja popiołów lotnych uzyskanych ze spalania węgla brunatnego

Wstęp

1. Rozwój nowoczesnych technologii, koszty surowców oraz wymagania środowiskowe skłaniają wielu producentów do wykorzystywania w procesach technologicznych odpadów powstających w obszarze działalności danej organizacji, jak i pozyskanych z zewnątrz [Kuczyńska, 2008]. Taki recykling dotyczy zarówno odpadów poprodukcyjnych organicznych [Obidziński, 2012; Dzik, 2008; Dzik i in., 2008], mineralnych [Olejnik, 2012; Gluba, 1996], nośników energii [Dzik i in., 2012; Feliks, 2012; Robak i in., 2008; Robak i in., 2012; Oleszczyński, 1991], jak i uzyskanych w wyniku spalania paliw [Jarema-Suchorowska, 2001]
2. Składowanie popiołów lotnych powstających podczas spalania węgla jest operacją kosztowną oraz negatywnie wpływającą na środowisko naturalne. Receptą na w/w problemy jest powtórne ich wykorzystanie po uprzedniej zmianie ich właściwości. Negatywne cechy popiołów związane z ich strukturą pylistą uniemożliwiają bowiem ich dogodne składowanie, płynne dozowanie oraz wymagają stosowania hermetycznych układów podczas transportu. Jednym z najefektywniejszych sposobów na zmniejszenie tych uciążliwości jest granulacja, w wyniku której można uzyskać złoże drobnoziarniste, które nie pyli, jest wygodne w transporcie, łatwo się magazynuje, i dozuje.

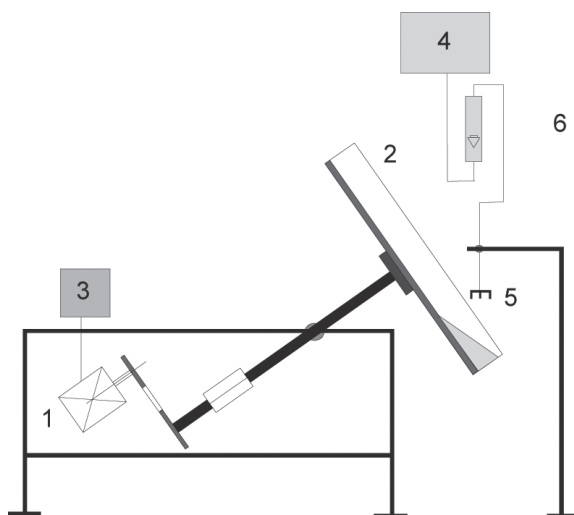
Popioły lotne poddane procesowi granulacji bezciśnieniowej mogą być przeznaczone do bezpośredniego wykorzystania lub może to być tylko etap ich obróbki. Istnieje kilka możliwości wykorzystania tak przetworzonych popiołów [Jarema-Suchorowska, 1982; Hycnar, 1982]; np.: nawozy, materiał do rekultywacji terenów i stabilizacji gruntów, jako dodatki do materiałów budowlanych.

Celem przeprowadzonych badań było:

- ustalenie parametrów procesowych granulacji talerzowej popiołów lotnych uzyskanych ze spalania węgla brunatnego
- zbadanie właściwości zgranulowanych popiołów w kontekście ich stosowanych jako dodatków podczas produkcji cementu.

Aparatura doświadczalna

Badania przeprowadzono na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do granulacji talerzowej:

1 – silnik, 2 – talerz granulatora, 3 – falownik, 4 – zbiornik z cieczą nawilżającą, 5 – zraszacz hydrauliczny, 6 – rotametr

Silnik – 1 poprzez przekładnię pasową napędzał talerz granulatora – 2. Prędkość obrotową talerza ustalano stosując falownik – 3. Ciecz zwilżającą dostarczano ze zbiornika – 4 na przesypującą się w talerzu warstwę złoża ziarnistego za pomocą zraszacza hydraulicznego – 5 wyposażonego w cztery dysze, które generowały krople o rozmiarach ok. 6 mm. Zastosowanie kilku dysz, w które wyposażony był zraszacz zapewniało równomierne dostarczanie cieczy na określoną powierzchnię przesypującego się w talerzu złoża materiału sypkiego. Nawilżanie prowadzono, aż do otrzymania założonej wilgotności. Stałe natężenie dopływu cieczy ustalano każdorazowo za pomocą rotametru – 6. Następnie granulowano je bez nawilżania. Stosowano okresowy tryb pracy granulatora.

Granulacji poddano popioły lotne uzyskane podczas spalania węgla brunatnego. Skład ziarnowy materiału pylistego określony na laserowym analizatorze wielkości ziaren *Analysette 22* zawierał się w przedziale 34÷112 μm. Podczas badań wstępnych określono również inne właściwości popiołów przedstawione w tab. 1.

Tab. 1. Właściwości popiołu lotnego

Nazwa	Gęstość, ρ_s	Gęstość nasypowa, ρ_{n0}	Kąt naturalnego usypu β
Popiół z węgla brunatnego	g/cm ³	g/cm ³	°
	2,3	0,46	46,9

Metodyka badań

Granulację prowadzono w granulatorze talerzowym, obracającym się ze stałą prędkością obrotową. Ciecz zwilżającą dostarczano na przesypującą się na talerzu warstwę materiału proszkowego za pomocą zestawu dysz rozmieszczonych nad talerzem granulatora. Dysze zasilano pod stałym ciśnieniem hydrostatycznym ze zbiornika magazynującego poprzez zawór odcinający i rotametr. Po zakończeniu granulacji podczas nawilżania proces kończono lub prowadzono dalej przez określony czas bez nawilżania. Następnie dokonywano analizy właściwości otrzymanego w danych warunkach produktu. W celu określenia składu granulometrycznego produkt suszono, a następnie rozdzielano na frakcje wymiarowe za pomocą zestawu sit o wymiarach oczek 0,1÷12,5. Podczas badań określano również gęstość nasypową, kąt naturalnego usypu oraz wytrzymałość uzyskanego produktu na ścieranie.

Badania prowadzono przy następujących wartościach parametrów:

- wymiary talerza (średnica $D = 250$ mm, wysokość burty $h = 100$ mm);
- prędkość obrotowa: $n = 0,5$ 1/s ;
- natężenie przepływu wody: $V_c = 1,8$ l/h;
- masa materiału (wsadu) $m = 0,352$ [kg].

Podczas badań zmieniano:

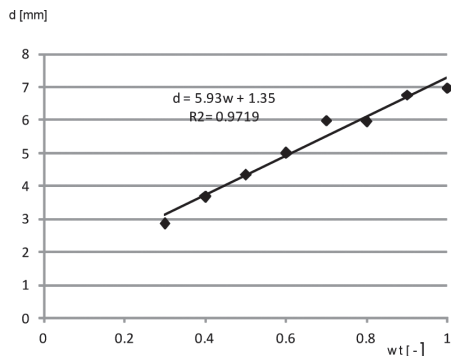
- wilgotność materiału w_i ; (czas nawilżania t)
- czas granulacji t_g .

Wyniki badań i ich analiza

W trakcie procesu skład granulometryczny popiołu zmienia się w wyniku oddziaływań pomiędzy ziarnami surowca, powstałymi wcześniej zarodkami i kroplami cieczy zwilżającej. Postęp procesu podczas nawilżania złoża opisano uzależniając średni rozmiar utworzonych granul d teoretycznej wilgotności produktu w_t . Wilgotność teoretyczną obliczano z zależności

$$w_t = \frac{m_c}{m} = \frac{V_c t}{m} \quad (1)$$

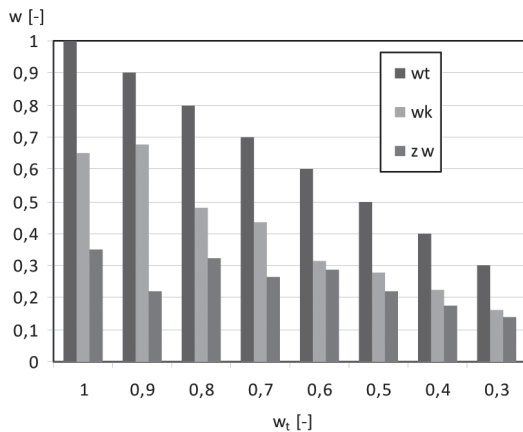
Przykładowe porównanie postępu procesu dla wartości wilgotności teoretycznej z zakresu $w = 0,3 \div 1$ przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wpływ wilgotności złoża na średni rozmiar uzyskanego granulatu

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że na etapie nawilżania przesypanego się w talerzu złoża popiołu lotnego następuje szybka zmiana rozmiaru średniego utworzonych granul. Krople cieczy o rozmiarze zastępczym wynoszącym ok. 6 mm inicjują szybkie powstawanie zarodków granulacji, które w wyniku otaczania zwiększają swój rozmiar przyłączając do powstałych aglomeratów materiał pylisty. Można zauważyć, że zmiany średniego rozmiaru uzyskanego granulatu wraz ze wzrostem wilgotności teoretycznej złoża (co tożsame jest z wzrostem czasu nawilżania) można przybliżyć funkcją liniową.

Przeprowadzone badania wykazały również występowanie zjawiska polegającego na spadku wilgotności granulowanego na etapie nawilżania złoża. Zjawisko to, charakterystyczne dla wszystkich, niezależnie od masy dostarczonej cieczy (od założonej wilgotności teoretycznej) przeprowadzonych eksperymentów. Tłumaczyć można egzotermicznymi reakcjami chemicznymi związków wchodzących w skład popiołu z dostarczoną wodą. Potwierdza to fakt wyczuwalnej zmiany temperatury przetwarzanego złoża oraz ścianek talerza. Skalę omawianego zjawiska obrazują zależności przedstawiono na rys. 3, gdzie porównano wartości wilgotności teoretycznej w_t z wilgotnością złoża zmierzoną po etapie nawilżania w_k oraz ze zmianami ww. parametrów z_w .

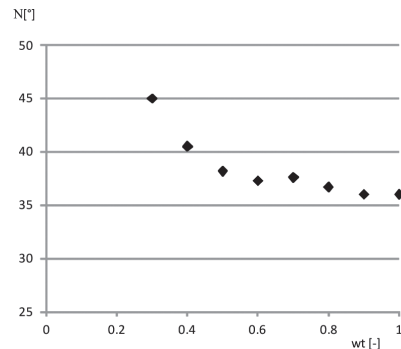


Rys. 3. Porównanie wartości wilgotności teoretycznej i końcowej

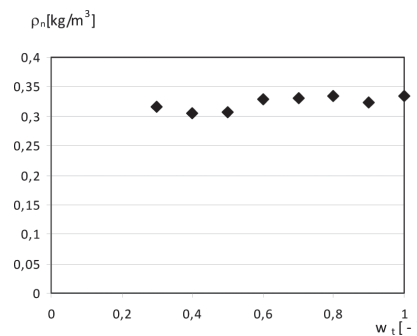
W pracy dokonano również analizy zmian innych parametrów uzyskanego złoża, które mogą mieć wpływ na magazynowanie, transport czy dozowanie zgranulowanego popiołu. Na rys. 4 i 5 przedstawiono zmiany kąta naturalnego nasypu oraz gęstości nasypowej wraz z wilgotnością teoretyczną złoża. Zauważono że wraz z postępowaniem procesu złoże traci swoją spójność, co skutkuje spadkiem kąta naturalnego usypu. Powyższe zjawisko wynika z tego, że materiał ziarnisty, który składa się z suchych na swojej powierzchni granulek jest bardziej sypki niż popiół, którego duża spójność wynika bezpośrednio ze składu ziarnowego.

Gęstość nasypowa po początkowym spadku wartości charakteryzującej surowiec do $0,32 \text{ g/cm}^3$ przy wilgotności $w_t = 0,3$ ustala się na stałym poziomie oscylującym ok. wartości $0,34 \text{ g/cm}^3$. Początkowy

spadek wartości gęstości nasypowej wynika z powstania przestrzeni pomiędzy utworzonymi granulami.

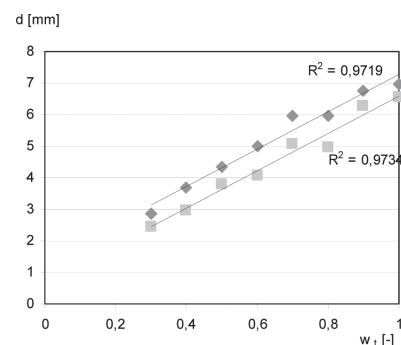


Rys. 4. Wpływ wilgotności złoża na kąt naturalnego usypu



Rys. 5. Wpływ wilgotności złoża na gęstość nasypową granulatu

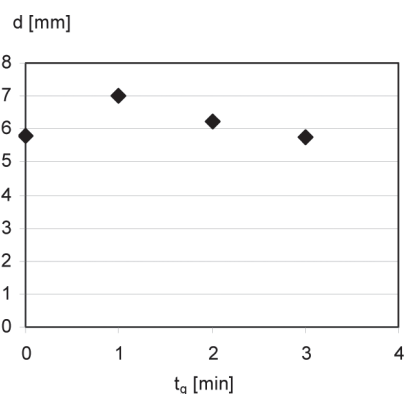
Odporność na ścieranie jest parametrem, który ma duży wpływ na możliwość transportu granulatu. W wypadku przetwarzania popiołów lotnych, które mają być stosowane jako dodatek do produkcji cementu parametr ten ma dodatkowe znaczenie wynikające ze zdolności tego komponentu do szybkiego tworzenia jednorodnego złoża z pozostałymi składnikami produktu.



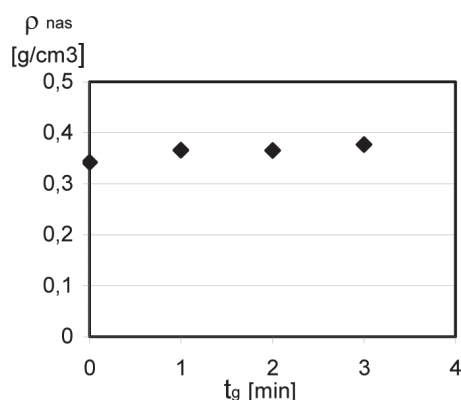
Rys. 6. Porównanie wartości średniej średnicy granulatu przed i po próbie ścierania

Granulowane pyły z jednej strony muszą mieć taką odporność na ścieranie, która pozwoli na transport ww. surowca bez znaczących zmian jego właściwości, z drugiej strony nie jest korzystne wytworzenie granul o zbyt dużej wytrzymałości, która uniemożliwi ich dezintegrację w operacji mieszania z resztą składników cementu. Na rys. 6. przedstawiono przykładowo porównanie wartości średniego rozmiaru granulatu przed i po próbie ścierania.

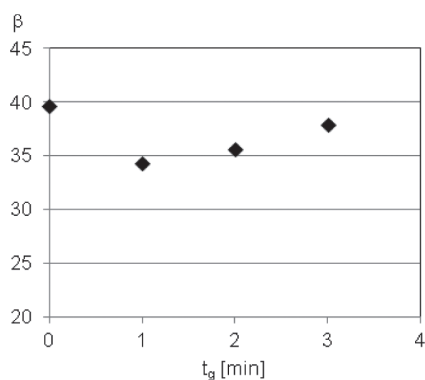
Po etapie nawilżania kontynuowano proces przez kolejne 3 min. Po każdej minucie granulacji bez nawilżania dokonywano analizy składu granulometrycznego, mierzono wartość kąta naturalnego usypu oraz gęstość nasypową. Zmiany tych parametrów z czasem granulacji przedstawiono na rys. 7÷9.



Rys. 7. Przykładowe zmiany średniej średnicy podczas granulacji złoża po nawilżaniu



Rys. 8. Przykładowe zmiany gęstości nasypowej podczas granulacji złoża po nawilżaniu



Rys. 9. Przykładowe zmiany kąta naturalnego usypu podczas granulacji po nawilżaniu

Analiza uzyskanych zależności pozwala zauważyć, początkowy wzrost średniego rozmiaru granulatu, spowodowany otaczaniem, a następnie spadek średniego rozmiaru wynikający prawdopodobnie ze zjawiska zagęszczania poszczególnych granul. Zjawisko to mające również wpływ na wartość gęstości nasypowej złoża kompensowane jest zwiększeniem się objętości przestrzeni między granulami wynikające ze zgranulowania całego surowca. Potwierdza to zaobserwowana na etapie granulacji stałość wartości gęstości nasypowej.

Wartość kąta naturalnego usypu β maleje w pierwszej minucie granulacji, co związane jest z postępowaniem procesu i zanikaniem zwiększającej

spójność złoża frakcji niezgranulowanego pyłu, by rosnąć w kolejnych minutach procesu. Związane jest to również z zagęszczaniem powstałych wcześniej granul i wynikającym z tego zjawiskiem „wyciskania” zakumulowanej wewnątrz aglomeratów cieczy na ich powierzchnię zewnętrzną, co implikuje większą spójnością złoża.

Wnioski

Popioły lotne uzyskane ze spalania węgla brunatnego można skutecznie granulować metodą aglomeracji talerzowej w szerokim zakresie zmian parametrów procesowych.

Zmiana parametrów granulacji pozwala na sterowanie składem granulometrycznym oraz wartością kąta naturalnego usypu przetworzonego popiołu.

Podczas nawilżania popiołów lotnych zaobserwowano zjawisko spadku wilgotności złoża, co może mieć wpływ na obniżenie ewentualnych kosztów suszenia zgranulowanego złoża.

LITERATURA

- Dzik T., Marciniak Kowalska J., Madejska L., 2012. Aglomeracja ciśnieniowa węgla energetycznych i węgla brunatnego, *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, **66**, nr 5, 445-452
- Dzik T., Hryniewicz M., 2008. Dobór układu zagęszczania prasy ślimakowej do scalania odpadów z produkcji rolnej, *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, **61**, nr 9, 429-433
- Dzik T., 2008. Teoretyczna i eksperymentalna analiza procesu scalania odpadów pochodzenia roślinnego *Chemik Nauka -Technika- Rynek*, **61**, nr 9, 450-452
- Feliks J., 2012. Badanie laboratoryjne granulowania mułów węglowych, *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, **66**, nr 5, 388-395
- Gluba T., Obraniak A., 1996. Badania niektórych warunków granulacji piasków szklarskich”, *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, **30**, 157-165
- Hycnar J., 1982. *Znaczenie procesu grudkowania w gospodarce popiołowej*. I Ogólnopolskie Symp. Granulacja 1982 – Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji, 5.1-5.15
- Jarema-Suchorowska S., *Wyniki prac Energopomiaru w zakresie granulacji talerzowej odpadów energetycznych*. VI Ogólnopolskie Symp. Granulacja 2001 – Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji
- Jarema-Suchorowska S., 1982. *Doświadczenia krajowe nad granulatorami i procesami granulowania popiołów lotnych*. I Ogólnopolskie Symp. Granulacja 1982 – Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji, 6.1-6.5
- Kuczyńska I. Grudkowanie – forma przygotowania odpadów do wykorzystania lub unieszkodliwienia, *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, 2008, **61**, nr 9, 434-435
- Obidziński S., 2012. Pelletization process of postproduction plant waste. *International Agrophysics*, **26**, nr 3, 279-284. DOI: 10.2478/v10247-012-0040-8
- Obidziński S., 2012. Analysis of usability of potato pulp as solid fuel. *Fuel Processing Technology*, **94**, 67–74. DOI: 10.1016/j.fuproc.2011.10.012
- Olejnik T.P., 2013. Selected mineral materials grinding rate and effect on product granulometric composition, *Physicochem. Probl. Miner. Proc.* **49**, nr 2, 407-418
- Oleszczyński B., 1991. *Zgranulowany uzdatniony odpad powęglowy jako półprodukt dla przemysłu ceramicznego*. IV Ogólnopolskie Symp. Granulacja 1991 – Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury, 6.1-6.6
- Robak J., Janusz M., Sobolewska A., 2012. Przygotowanie lignocelulozy odpadowej do procesu spalania. *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, **66**, nr 5, 436-444
- Robak J., Matuszek K., 2008. Granulowanie paliwa z odpadów, *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, **61**, nr 9, 418-424

Praca wykonana w Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej w ramach działalności statutowej W-10/1/2013/Dz.St.