

Tomasz TOPOLIŃSKI^{1,2}, Józef FLIZIKOWSKI¹, Jan JASIŃSKI², Damian WELNOWSKI²

e-mail: tomasz.topolinski@utp.edu.pl

¹Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz²GORDEN sp. z o.o., Bydgoszcz

Inżynieria energomechaniczna biomasy. Cz. II: Mikronizator

Wprowadzenie

Dla zapobieżenia licznym, niekorzystnym zjawiskom współspalania biomasy z węglem, konieczne jest zapewnienie powtarzalnego, precyzyjnego mielenia biomasy na jak najdrobniejsze frakcje stałe.

Celem zadań modernizacyjnych był opis i analiza warunków technicznych, szczególnie mikronizacji biomasy, niezbędnych do zaistnienia wysokiej efektywności energetycznej jej współspalania z węglem.

Dla osiągnięcia celu przeprowadzono postępowanie przygotowawcze obejmujące pro optymalizacyjne konceptowanie nowej techniki mikro-rozdrabniania.

Stan techniki mielenia

Wydajność aktualnie spotykanych młynów młotkowych zależy ściśle od idei rozdrabniania, konstrukcji młyna, a szczególnie zespołu roboczego (narzędziowego), parametrów procesu i jakości biomasy, w szczególności od ilości popiołu i materiału ściernego zawartego w materiale mielonym. W znanych liniach przygotowania wsadu do spalania w kotłach najczęściej biomasa jest transportowana przenośnikami ślimakowymi i kierowana do stacji młynów młotkowych. Młynami młotkowymi można rozdrobnić dostarczoną do nich biomasę na pył o granulacji nie przekraczającej średnio 1 mm. Aby zapewnić odpowiednią ilość/jakość rozdrobnionej biomasy podczas pracy przy maksymalnej mocy kotła oraz na wypadek przestoju lub remontu młynów instalacje wyposaża się w liczne młyny (np. cztery komplety młynów). W celu uniknięcia awarii spowodowanych uszkodzeniami mechanicznymi przez zanieczyszczenia znajdujące się w biomacie na wlocie do młynów znajdują się wychwytywacze kamieni oraz wykrywacze metalu [Flizikowski, 2011; Kruczek i in., 2007; Sidor, 2006; Zawada, 2005].

Wirnik młyna ma możliwość zmiany kierunku ruchu obrotowego, co zmniejsza zużycie się młotków (obu krawędzi roboczych, udarowych, tnących). Każdy z młynów wyposażony jest w system kanałów transportujących mieszankę pyłową do dalszej części instalacji.

Po procesie rozdrabniania pył powstały z biomasy oddzielany zostaje od powietrza transportującego za pomocą czterech filtrów z układem zrzutowym. Ruch powietrza transportowego wywołany jest przez cztery wentylatory. Po separacji od powietrza pył opada do zbiorników filtrów workowych. Z tego miejsca za pomocą czterech wygarniaczy pyłu, podajników celkowych oraz dwóch podajników ślimakowych pył biomasy transportowany jest do dwóch silosów o małej pojemności (np. 30 m³ każdy) [Flizikowski, 2011, Flizikowski i Bieliński K., 2013].

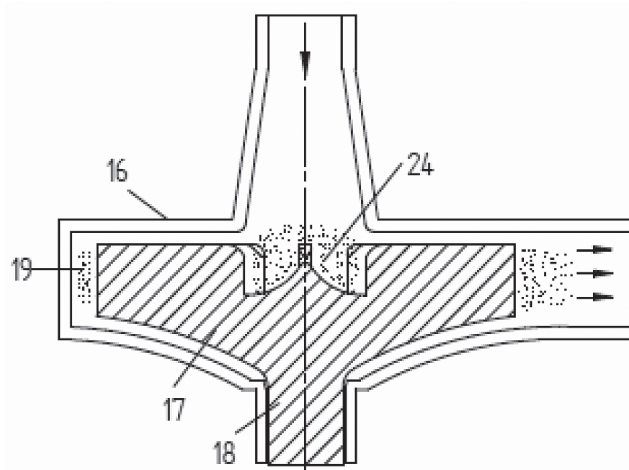
Wskaźniki porównawcze materiałów ziarnistych

Do opisu produktów ziarnistych otrzymywanych z rozdrabniania materiałów biologicznych wykorzystuje się w celach technologicznych oraz w zagadnieniach związanych z ich wytworzeniem i przyszłym zastosowaniem wskaźniki porównawcze. Są to parametry lub cechy określone jako właściwości, czasami – własności materiałów drobno uziarnionych, odnoszone jednak do zbiorów ziaren. Wskaźniki te można podzielić na trzy grupy [Flizikowski, 2011, Sidor, 2006]:

1. *Wskaźniki fizyczne* – określające cechy geometryczne i właściwości fizyczne materiału uziarnionego obejmujące: wymiary, kształty ziaren, rozkłady zbiorów ziaren, wymiary ziaren kontrolnych, zewnętrznych górnych lub dolnych, średnich, o określonym procencie (50, 67, 80, 90, 97, 99) masy ziarna kontrolnego, powierzchnię właściwą

kinetyczną, powierzchnię właściwą statyczną, gęstość piknometryczną, mikrotwardość, wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie, na kruche pęknięcie, higroskopijność, zdolności adsorpcyjne i absorpcyjne, piroforyczność, barwę, połysk, objętość całkowitą porów, średnią wielkość i rozkład porów, kształt porów, kąt tarcia wewnętrznego, kąt tarcia statycznego i kinetycznego o metal i inne.

2. *Wskaźniki chemiczne* opisujące: udział składnika podstawowego, udziały pozostałych składników, udział zanieczyszczeń faz (stałej, ciekłej i gazowej), występowanie powłok tlenkowych, odporność na korozję, aktywność chemiczną, aktywność elektrochemiczną, zdolności katalityczne, toksyczność i inne.
3. *Wskaźniki technologiczne* zawierające: stopnie rozdrobnienia (graniczny, średni, n-procentowy), stopień przyrostu powierzchni, podatność na mielenie, podatność na aglomerowanie, udział wody, wydajność całkowitą, wydajność klasy użytecznej, jednostkowe zużycie energii, wskaźnik efektywności (skuteczności) procesu mielenia, sypkłość, zagęszczalność, prasowalność, spiekalność i inne.



Rys. 1. Urządzenia do mikronizacji biomasy wg zgłoszenia patentowego P. 394325

Idea i konstrukcja mikronizatora

Mikronizator (Rys. 1) wraz z instalacją linii technologicznej (Rys. 2), został zgłoszony do *Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej* [Zgłoszenie patentowe, 2011].

Istotą urządzenia mikronizującego jest szybko wirujący dysk – 17 napędzany wałem – 18, którego integralną częścią są łopatki proste lub łukowate. Dysk może być otwarty lub zamknięty. Obroty dysku są dobrane tak, aby uzyskać dla średnicy zewnętrznej D bardzo wysoką prędkość obwodową, np. w granicach $300\div 800$ m·s⁻¹.

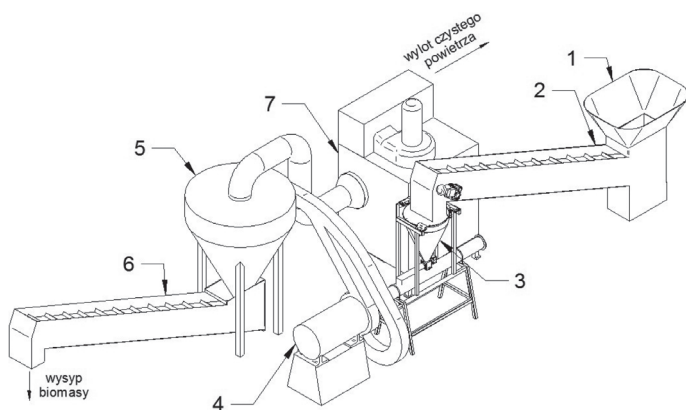
W strefie suszenia i wstępnego rozdrabniania – 24 w wyniku dużej prędkości obrotowej dysku generuje się duże podciśnienie. Powoduje ono napływ powietrza na dysk z prędkością $250\div 350$ m/s. Przepływające powietrze umożliwia zabranie biomateriału, który ulegając gwałtownemu przyspieszeniu zderza się z dyskiem – 17 i zostaje wstępnie rozdrobniony.

Materiał rozdrabniany wraz z powietrzem zmienia kierunek przepływu pod kątem prostym i jest dalej przyspieszany w kanałach pomiędzy łopatkami. Porusza się z przyspieszeniem właściwym dla zastosowanej

średnicy dysku i jego prędkości obrotowej. Następnie materiał jest wyrzucany do strefy o niezwykle wysokiej turbulencji – 19, w której następuje jego mikronizacja w wyniku oddziaływania trzech współbieżnych procesów: deaglomeracji, densyfikacji i dezintegracji, wywołanych kawitacją i propagacją fal uderzeniowych w wyniku kolizji naddźwiękowych strumieni masy – promieniowego i obwodowego.

Linia mikronizacji

Na rys. 2 przedstawiono schemat instalacji technologicznej do mikronizacji biomasy [Zgłoszenie patentowe, 2011]. Materiał przeznaczony do rozdrobnienia dostarczany jest poprzez lej zasypowy do kosza – 1, skąd przenośnikiem – 2 podawany jest do dozownika – 3. Dozownik napędza rurę ssącą, która zasila osiowo mikronizator dyskowy napędzany silnikiem elektrycznym – 4. Zmikronizowana biomasa w mieszaninie z powietrzem i parą wodną przepływa do separatora cyklonowego – 5, skąd przenośnikiem taśmowym – 6 podawana jest do pojemników zewnętrznych. Oczyszczone z rozdrabnianego materiału wilgotne powietrze przepływa do osuszacza, a następnie do filtra dokładnego oczyszczania – 7. Frakcje oddzielone w obu filtrach mogą być zawracane do ponownej mikronizacji (frakcje grube), albo przekazywane do pojemników zewnętrznych (frakcje drobne).



Rys. 2. Instalacja technologiczna mikronizowania biomasy: 1 – kosz z lejem zasypowym, 2 – przenośnik taśmowy, 3 – dozownik, 4 – mikronizator z silnikiem elektrycznym, 5 – cyklon, 6 – przenośnik taśmowy, 7 – urządzenie filtracyjne [Zgłoszenie patentowe, 2011]

Urządzenia i instalacje peryferyjne

Silosy pyłu, filtry workowe oraz silosy biomasy zostaną wyposażone w instalację przeciwwybuchową [Głód i Rysiawa, 2008; Golec, 2004; Ściążko i in., 2006].

Aby ograniczyć zjawisko elektryzowania się pyłu oraz jego *zawieszanie się* na ścianach, silosy pośrednie zostaną pomalowane farbą o niskim współczynniku tarcia.

Instalacja dozowania pyłu do palników będzie się składała z rotorów nagarniających, podajników ślimakowych oraz z podajników całkowych, które pełniły będą dodatkową rolę blokady ciśnienia pyłu w układzie transportującym [Golec, 2004; Ściążko i in., 2006].

Powietrze transportujące pył do palników pochodzi ze sprężarek (np. *Rootsa*). Silniki napędzające sprężarki sterowane są falownikami, z płynną regulacją prędkości obrotowej wirników i możliwością bardzo dokładnego dawkowania pyłu biomasy do palników (np. w zależności od aktualnego obciążenia kotła) [Głód i Rysiawa, 2008; Golec, 2004; Kasztelewicz, 2010; Popiel, 2011; Ściążko i in., 2006].

Analiza wrażliwości. Wnioski

Inwestycja polegająca na modernizacji kotła wymaga przeprowadzenia *analizy wrażliwości*. Ryzyko wynikające z inwestycji musi uwzględniać realny poziom sprzedaży energii elektrycznej oraz wielkość nakła-

dów inwestycyjnych. Każde niedoszacowanie wielkości kosztów inwestycyjnych powoduje spadek efektywności ekonomicznej projektu, a z kolei każde zwiększenie wielkości sprzedaży energii elektrycznej do sieci zwiększa poziom efektywności inwestycji [Błasiak i in., 2006; Flizikowski, 2011].

W *analizie wrażliwości* wzięto pod uwagę:

- sprawność netto wytwarzania energii w skójarzeniu,
- liczbę godzin pracy operacyjnej (wpływ na wielkość sprzedaży energii elektrycznej),
- wykorzystanie mocy cieplnej osiągalnej (wpływ na wielkość sprzedaży),
- wpływ kursu EUR na nakłady inwestycyjne,
- koszt emisji CO₂,
- aktualną cenę biomasy [Błasiak i in., 2006].

Z *analizy wrażliwości* wynika, iż największy wpływ na efektywność ekonomiczną inwestycji mają:

- bieżąca cena biomasy,
- liczba operacyjnych godzin pracy kotła,
- koszty emisji CO₂,
- wartość kursu EUR.

Z *analizy zalet i wad* wykorzystania biomasy w przemyśle energetycznym wynika, że polski przemysł energetyczny w najbliższej przyszłości jest „skazany” na rozwijanie tego kierunku pozyskiwania energii. Uwarunkowania polityczne (zarówno krajowe jak i unijne) wymagają od producentów energii stosowania w ściśle określonych ramach czasowych odpowiednich poziomów energii uzyskiwanej ze źródeł odnawialnych. Rolniczy charakter Polski sprzyja zakładaniu plantacji roślin energetycznych, które mogą zapewnić odczuwalną niezależność energetyki przemysłowej od paliw kopalnych lub ograniczyć ich stosowanie.

LITERATURA

- Błasiak W., Moberg G., Grimbrandt J., 2006. *Redukcja tlenków azotu oraz optymalizacja spalania w komorach kotłów za pomocą asymetrycznego systemu podawania powietrza wtórnego*. 10. Międzynarodowa Konferencja Techniki Grzewczych, Goteborg
- Flizikowski, J., 2011. *Micro- and Nano-energy grinding*. PANSTANFORD Publishing, Singapore (ISBN-10 9814303534)
- Flizikowski J., Bieliński K., 2013: *Technology and energy sources monitoring. Control, Efficiency and Optimization*. IGI Global, USA, (ISBN 978-1-4666-2664-5)
- Głód K., Rysiawa K., 2008. *Współspalanie biomasy*, Instytut chemicznej przeróbki węgla. XV Wiosenne spotkanie Ciepłowników, Zakopane
- Golec T., 2004. *Współspalanie biomasy w kotłach energetycznych*, *Energetyka*, nr 7-8, 437-445
- Kasztelewicz Z., 2010. *Węgiel brunatny optymalnym paliwem dla polskiej energetyki w I połowie XXI, czyli 10 atutów branży węgla brunatnego*, Wyd. AGH, Warszawa
- Kruczek S., Skrzypczak G., Muraszowski R., 2007. *Spalanie i współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi*, *Czysta Energia*, 68, nr 6
- Popiel P.: *Wpływ współspalania biomasy z pyłem węglowym na stratę niedopalu*, *Pr. Inst. Elektrotechn., Pol. Lubelskiej* z. 249
- Soliński I., Jesionek J., 2007. *Efekty ekologiczne współspalania biomasy z węglem kamiennym*, Warsztaty: *Współspalanie biomasy i termiczna utylizacja odpadów w energetyce*, Kraków
- Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., 2006. *Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową*, *Energetyka i Ekologia*, nr 3, 207-220
- Sidor, J. 2006. *Studia, modele i metody projektowania młynów wibracyjnych*. Rozprawy Monografie, AGH, Krakow, 150
- Zawada J. (red), 2005. *Wprowadzenie do mechaniki maszynowych procesów kruszenia*. Wyd. ITE, Radom – Warszawa
- Zgłoszenie patentowe, 2011. *Sposób i urządzenie do mikronizacji biomasy*. Nr zgłoszenia P. 394325 z dnia 24.03.2011 r.

Badania finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2010-2013 jako projekt rozwojowy i UDA-POIG. 01.04.00-04-003/11-00.