

Marek MACKO, Krzysztof TYSZCZUK, Grzegorz ŚMIGIELSKI, Adam SOBKOWIAK

e-mail: mackomar@ukw.edu.pl

Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

Implementacje mechatroniczne w układzie rozdrabniacza

Wstęp

Wprowadzenie mechatronicznych implementacji, wdrożenie nowoczesnych systemów kontroli i sterowania umożliwia lepsze poznanie i identyfikację procesu rozdrabniania precyzyjnego. Dzięki tym wdrożeniom możliwa jest adaptacja otrzymanych zmiennych do postaci modeli matematycznych rozdrabniania, poprawa masowych, ruchowych i dynamicznych charakterystyk użytkowych systemów rozdrabniania i podwyższenia sprawności rozdrabniania. Przyczynia się to do wielopoziomowej i interdyscyplinarnej akwizycji nowej wiedzy o zjawiskach rozdrabniania oraz poprawy efektywności rozdrabniania materiałów biologicznych oraz tworzyw polimerowych (przeznaczonych do dalszego przetwórstwa i recyklingu energetycznego).

Proces rozdrabniania charakteryzuje się wysoką energochłonnością i zarazem niską sprawnością. Zapotrzebowanie energii na rozdrabnianie jest wysokie i wynosi 200÷500 KW-h/Mg, co stanowi 25÷50% ogółu energii elektrycznej potrzebnej w przetwórstwie [Flizikowski i Lis, 2007; Flizikowski, 2005; Macko, 2011; Tyszczyk, 2006]. Integracja kilku dyscyplin naukowych, wokół których realizowane są badania, zapewnia oczekiwany charakter pionierskich badań naukowych.

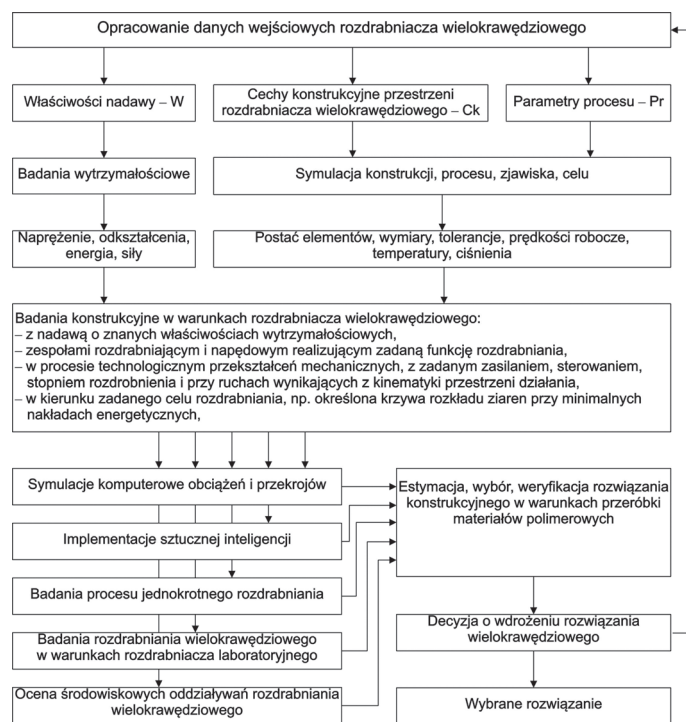
Celem pracy jest weryfikacja aktualnego stanu techniki, systemów rozdrabniania precyzyjnego, wyposażonych w układy mechatroniczne i spełniających postulat wysokiej efektywności energetycznej.

Stany postulowane rozdrabniania

Znaczenie badań polega na podwyższeniu sprawności i efektywności energetycznej, ekologicznej i ekonomicznej rozdrabniania dzięki wdrożeniu systemów kontroli i sterowania. Biorąc pod uwagę postać zewnętrzną i wewnętrzną produktów, dalsze ich przetwórstwo (składowanie, spalanie, kompaktowanie), można stwierdzić, że istotnie wpływają one na stan zrównoważonego rozwoju, np. efektywności energetyczno-środowiskowej w recyklingu. Dobór cech konstrukcyjnych rozdrabniaczy (geometryczne elementów rozdrabniających i rozdrabnianych) i parametrów technologicznych jest wynikiem poznania i wdrożenia wiedzy o budowie i eksploatacji rozdrabniaczy oraz wdrażania innowacji materiałowo-technologicznych (Rys. 1) [Flizikowski i Lis, 2007; Flizikowski, 2008; Jankowski i Tyszczyk, 2009; Macko, 2011; Macko i Tyszczyk, 2006].

Dane pochodzące z monitorowania procesu rozdrabniania są przetwarzane w oparciu o metody *Data Mining* (DM). Ta wchodząca w skład uczenia maszynowego (*machine learning*) subdyscyplina definiowana jest jako *nietrywialne wydobywanie ukrytej, poprzednio nieznannej i potencjalnie użytecznej informacji z danych* [Frawley i in., 1992]. Inni autorzy akcentują rozmiar danych zaznaczając że jest to *nauka zajmująca się wydobywaniem informacji z dużych zbiorów danych lub baz danych* [Hand i in., 2001]. Metoda ta umożliwia wygenerowanie reguł reprezentujących zależności pomiędzy wejściami, a wyjściami procesu rozdrabniania. Dotychczas prowadzone obliczenia nie pozwoliły na wskazanie prostych zależności statystycznych reprezentowanych np. przez współczynnik korelacji. Złożone relacje przyczynowo-skutkowe są nieliniowe i dlatego wdrożenie metod, których zastosowanie do wykrywania reguł w innych dziedzinach się sprawdziło, wydaje się celowe również w tym przypadku.

Dzięki nowej koncepcji sterowania rozdrabniaczem precyzyjnym udało się dokonać opisu procesu sterowania za pomocą sieci *Petriego*, która dobrze nadaje się do modelowania współbieżnych układów cyfrowych. W większości projektów inżynierskich istnieje konieczność skoordynowania częściowo niezależnych procesów o charakterze sekwencyjnym. W automatach współbieżnych rozpatruje się zamiast glo-



Rys. 1. Schemat blokowy komputerowo wspomaganego poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych rozdrabniacza

balnych funkcji przejść – lokalne relacje, wiążące ze sobą wewnętrzne stany częściowe, aktualne i następne oraz odpowiednie stany wejść współbieżnych wyjść automatu.

Interpretowana sieć *Petriego* jest obrazową formą przedstawienia automatu współbieżnego. Wszystkie miejsca oznakowane w tym samym czasie definiują stan globalny sterownika. Znaczniki wyznaczają, które stany sterownika są aktywne w danym czasie. Oznakowanie początkowe reprezentuje stan początkowy układu. Każda tranzycja typu rozwidlenie (posiadająca więcej niż jedno miejsce wyjściowe) jest początkowym punktem dla równoległych procesów, natomiast każda tranzycja typu złączenie (tranzycja posiadająca więcej niż jedno miejsce wejściowe) synchronizuje procesy, które łączą się w tym punkcie.

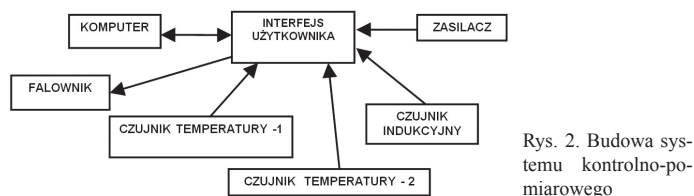
Urządzenie rozpoczyna pracę z ustawionymi wszystkimi symbolami na „0”. W momencie wciśnięcia przycisku START rozpoczyna się napełnianie komory rozdrabniacza. Po zakończeniu napełniania uruchamiany jest proces rozdrabniania i rozpoczynają się dwa współbieżne procesy kontrolujące wielkość recyklatu i temperaturę. Sterowanie prędkością obrotu każdej z tarcz tnących wpływa bezpośrednio na temperaturę. Natomiast wielkość recyklatu jest wprost proporcjonalna do odległości między tarczami. Jeśli temperatura jest odpowiednia, włączana jest dioda sygnalizująca właściwą temperaturę. Podobnie dzieje się z czujnikiem granulacji (jeśli granulacja jest odpowiednia, wówczas uruchamiana jest dioda sygnalizująca). Gdy produkt jest już gotowy, wówczas następuje otwarcie zaworu i wysypywanie gotowego produktu. Zawór pozostaje otwarty do momentu, aż cały recyklat opuści komorę rozdrabniacza. Proces może być kontynuowany w pętli kolejnych iteracji.

Jakość pracy wybranego układu regulacji automatycznej ocenia się na podstawie przebiegu uchybu regulacji w czasie całego okresu pracy układu. Z uwagi na przypadkowy charakter przebiegu zakłóceń trudno jest określić rzeczywisty przebieg uchybu regulacji, zatem ocena jakości pracy układu przeprowadzana jest na podstawie cech i parametrów wybranego procesu (części procesu), występujących przy pewnych typo-

wych wymuszeniach, zidentyfikowanych dla rozdrabniania za pomocą rozdrabniacza precyzyjnego. W pracach [Flizikowski, 2005; Jankowski i Tyszczyk, 2009; Macko, 2011; Tyszczyk, 2006] zaprezentowano część zmiennych wejściowych w rozdrabniaczu precyzyjnym RPW-11TN, które pozwoliły na zainicjowanie budowy komputerowego systemu wspomagania procesu rozdrabniania nasion oleistych za pomocą rozdrabniacza precyzyjnego oraz implementacje mechatroniczne.

Koncepcja systemu pomiarowo-kontrolnego oraz programu komputerowego

Urządzenie, które stanowi część systemu mechatronicznego, służy do sterowania falownikiem zasilającym silnik napędowy układu rozdrabniacza oraz do pomiaru prędkości obrotowej i temperatur w kilku istotnych punktach rozdrabniacza. Oprogramowanie komputerowe pozwala na wyświetlenie danych pomiarowych i ręczne sterowanie falownikiem, gdzie klawiaturę falownika zastąpiono przyciskami na ekranie monitora. Oprogramowanie jest otwarte, co pozwala na rozbudowę o kolejne mierzone wielkości oraz dodanie funkcji sterowania procesem rozdrabniania i jego automatyzację.



Rys. 2. Budowa systemu kontrolno-pomiarowego

Zadania podzielono między dwa zasadnicze elementy układu, gdzie główny element to interfejs pomiarowo-sterujący, sprzężony łączem szeregowym z komputerem. Interfejs zbudowany na bazie procesora *ATMega* prowadzi nabór i wstępne przetwarzanie danych oraz steruje urządzeniami zewnętrznymi realizując strategię zadaną przez komputer. Użytkownik ma możliwość obserwowania parametrów procesu i sterowania nim w czasie rzeczywistym. Sterowanie odbywa się za pomocą pól przycisków za pośrednictwem ekranu dotykowego lub za pomocą myszki. Możliwe jest tworzenie aplikacji sterujących i pomiarowych oraz wizualizacja i rejestracja ich pracy.

Poza tworzeniem algorytmów sterujących i okien pełniących rolę paneli operatorskich i ekranów wizualizacji można skorzystać z dodat-

kowych możliwości, takich jak: programatory czasowe, harmonogram zadań, rejestratory trendów i danych pomiarowych.

Istnieje możliwość sterowania systemem za pomocą e-maili, wysyłania e-maili, można tworzyć dynamicznie dokumenty HTML. Kilka programów może komunikować się ze sobą za pośrednictwem sieci LAN.

Taka koncepcja stanowiska laboratoryjnego z wykorzystaniem komponentów mechatronicznych umożliwia realizację badań rozdrabniania dla szerokiego spektrum czynników stałych:

- właściwości materiałowe i kształt elementów rozdrabnianych jako nadawy,
- wymiary elementów rozdrabnianych oraz zmiennych:
- momenty i prędkości obrotowe tarcz i bębnow z otworami,
- cechy konstrukcyjne przestrzeni rozdrabniacza.

Wdrożenie zaawansowanych metod sterowania i kontroli wraz z aplikacjami sztucznej inteligencji w systemach rozdrabniania precyzyjnego przyczyniło się do wielopoziomowej i interdyscyplinarnej akwizycji nowej wiedzy o zjawiskach rozdrabniania oraz poprawy efektywności procesu rozdrabniania materiałów biologicznych (m.in. nasion oleistych bez emisji oleju i bez istotnego wzrostu temperatury produktu) oraz tworzyw polimerowych (przeznaczonych do dalszego przetworstwa i/lub recyklingu energetycznego).

Podsumowanie

Obiektem mechatronicznej implementacji był zespół rozdrabniający zbudowany wg zasad konstrukcji precyzyjnych rozdrabniaczy wielokrawędziowych i igłowych, lecz igły zostały zastąpione bardzo cienkimi nożami tarczowymi o występach rozłożonych równomiernie na obwodzie wirnika i w odpowiedniej konfiguracji stojana.

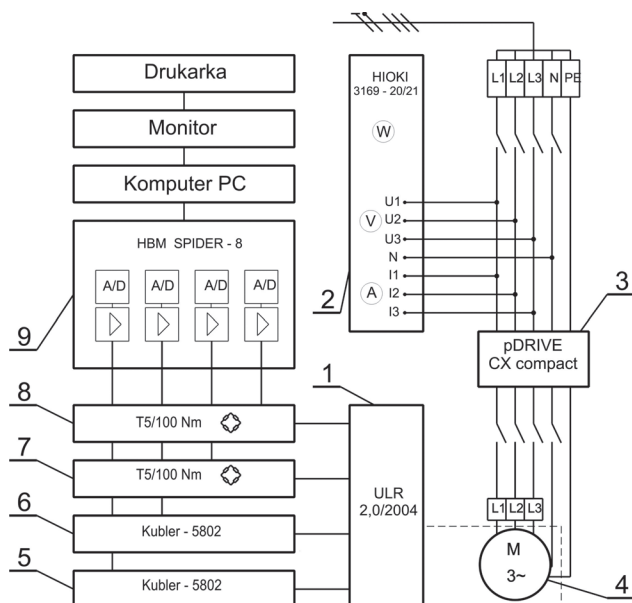
Zastosowano metodę badawczą, w której dominującą rolę pełnią związki energetyczno-środowiskowe podsystemów procesowych i sterowania oraz identyfikacja i ocena wybranych technik rozdrabniania, zweryfikowana w oparciu o odpowiedzi konstrukcji zintegrowanego systemu rozdrabniania precyzyjnego.

W metodzie badawczej wykorzystano implementacje nowoczesnych układów sterowania, z wykorzystaniem wysokiej klasy sterowników oraz zaawansowanych technologii systemów wizualizacji, m.in. SCADA, które zapewniają spełnienie funkcji diagnostycznej, informacyjnej, archiwizacyjnej, itp.

W systemie rozdrabniania precyzyjnego przewiduje się docelowo zastosowanie podukładów w celu zbierania danych o stanie obiektu, przetwarzania danych i wypracowywania decyzji dotyczących sterowania procesem w układzie dynamicznym, odpowiedniego sterowania obiektem w momencie pojawienia się stanów krytycznych i alarmowych, umożliwienia bezpośredniej ingerencji w przebieg procesu, zapewnienia pełnej i czytelnej wizualizacji przebiegu procesu, archiwizowania stanów pracy rozdrabniacza.

LITERATURA

- Flizikowski J., 2005. Integron – model konstrukcji rozdrabniacza. *Inżynieria Rolnicza*, nr 9 (69), 109-117
- Flizikowski J., Lis A., 2007. Optymalizacja rozdrabniacza wielotarczowego. *Inż. Ap. Chem.* **46**, nr 1, 50-52
- Flizikowski J., 2008. Optymalizacja rozdrabniania materiałów biologicznych, polimerowych i włóknistych. *Inż. Ap. Chem.* **47**, nr 4, 26-27
- Frawley W., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C., 1992. Knowledge Discovery in Databases: An Overview. *AI Magazine*
- Hand D., Mannila H., Smyth P., 2001. Principles of Data Mining. The MIT Press.
- Jabłoński W., 1998. *Automatyka i sterowanie*. Wyd. ATR, Bydgoszcz
- Jankowski M., Tyszczyk K., Kopacz S., 2009. Algorytm optymalizacji rozdrabniania nasion oleistych z wykorzystaniem programowania genetycznego. *Inż. Ap. Chem.* **48**, nr 2, 54-55
- Macko M., 2011a. *Modeling and simulation of multi-edge comminution* [w:] Machine Modeling and Simulations 2011 – The 16th International Slovak-Polish Conference. Terchová, Slovakia. Wyd. University of A. Dubček in Trenčín, 87-92. (ISBN 978-80-8075-494-5)
- Macko M., 2011b. *Comminution as an important stage in recycling* [w:] Damanhuri E. (ed.): Recycling / Book 2. InTech – Open Access Pub. (ISBN 978-953-307-1150-2)
- Tyszczyk K., 2006. *Badania efektywności rozdrabniania nasion lnu*. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań



Rys. 3. Schemat elektryczny stanowiska rozdrabniacza laboratoryjnego wraz z elementami kontrolno-pomiarowymi: 1 – rozdrabniacz laboratoryjny ULR 2,0/2004, 2 – wielofunkcyjny miernik mocy Hioki 3169 – 20/21, 3 – falownik pDrive CX compact/ 3 kW, 4 – trójfazowy silnik indukcyjny (Indukta – Sh 90L – 4/2), 5 – przetwornik obrotowo – impulsowy (Kubler – 5802), 6 – przetwornik obrotowo-impulsowy (Kubler – 5802), 7 – momentomierz (HBM T5/100 Nm), 8 – momentomierz (HBM T5/100 Nm), 9 – wzmacniacz pomiarowy HBM Spider 8