

Grzegorz ŚMIGIELSKI, Marek MACKO, Krzysztof TYSZCZUK

UNIwersYTET KAZIMIERZA WIELKIEGO, WYDZIAŁ MATEMATYKI, FIZYKI I TECHNIKI,
Chodkiewicza 30, Bydgoszcz

System sterowania rozdrabniacza precyzyjnego**Dr Grzegorz ŚMIGIELSKI**

Absolwent Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK w Toruniu. W 2011 roku uzyskał stopień naukowy doktora w dyscyplinie elektronika na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania naukowe dotyczą budowy i zastosowania systemów pomiarowych i sterujących. Jest adiunktem w Instytucie Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wydziału Matematyki, Fizyki i Techniki na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy.

e-mail: gsmigielski@ukw.edu.pl

**Dr inż. Marek MACKO**

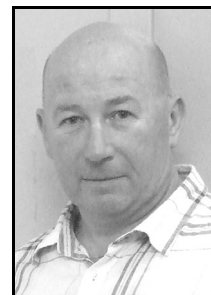
Dr inż. Marek Macko w roku 2000 doktoryzował się w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno-Rolniczej (obecnie Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy) w Bydgoszczy. Jest adiunktem w Instytucie Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wydziału Matematyki, Fizyki i Techniki na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy.

e-mail: mackomar@ukw.edu.pl

**Dr inż. Krzysztof TYSZCZUK**

Od roku 2006 posiada tytuł doktora nauk technicznych w dziedzinie budowa i eksploatacja maszyn. Aktualnie jest pracownikiem Instytutu Mechaniki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, w Zakładzie Mechatroniki. Zakres jego zainteresowań zawodowych obejmuje zagadnienia konstrukcji rozdrabniaczy precyzyjnych materiałów biologicznych, procesu rozdrabniania oraz jego mechatronizacji, a także zastosowań pneumatyki w realizacji sterowania procesem rozdrabniania.

e-mail: krzytysz@ukw.edu.pl



rozdrabnianie jest wysokie ok. 200-500 kW·h/Mg, co może stanowić nawet 50% ogółu energii elektrycznej potrzebnej w przetwórstwie i do 3% całkowitej energii wytwarzanej na świecie [1, 2, 3, 4].

Rozdrobnienie materiału biologicznego wiąże się z możliwością jego użycia do celów żywieniowych (przemysł piekarniczy, pasza dla zwierząt); w przypadku materiału polimerowego - rozdrobnienie ułatwia lub wręcz umożliwia jego dalszą obróbkę.

W ogólnym ujęciu uważa się, iż proces rozdrabniania możemy nazwać efektywnym, gdy wydajność techniczna i stopień rozdrabniania rosną, a obciążenia i energia potrzebna do rozdrobnienia maleją.

Poprawienie efektywności energetycznej przy zachowaniu odpowiednich parametrów materiału wyjściowego wiąże się z pozytywnymi skutkami ekonomicznymi i ekologicznymi.

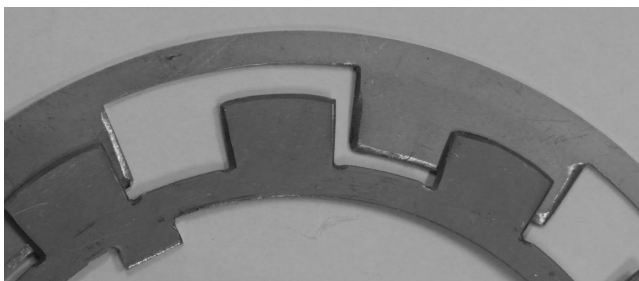
W celu poprawienia efektywności rozdrabniania materiałów biologicznych i tworzyw polimerowych (przeznaczonych do dalszego przetwórstwa i recyklingu energetycznego) zostało zbudowane stanowisko badawcze rozdrabniacza precyzyjnego wyposażone w system kontrolno-pomiarowy zbudowany na bazie komputera oraz systemu mikroprocesorowego.

Zbudowany system umożliwia m.in. pomiar energii elektrycznej oraz mechanicznej przeznaczonej na proces rozdrabniania, jak również stały monitoring temperatury rozdrabnianego materiału.

Jest to niezwykle istotne ponieważ nadmierny wzrost temperatury rozdrabnianego produktu jest często niepożądany - dzieje się tak np. w przypadku rozdrabniania nasion lnu. Wzrost temperatury powoduje wydzielanie się trujących związków chemicznych [2, 4, 5]. Z kolei nadmierny wzrost temperatury w przypadku rozdrabniania tworzyw polimerowych prowadzi do oklejania narzędzi tnących prowadząc tym samym do znacznego spadku efektywności procesu rozdrabniania.

2. Mechaniczna konstrukcja rozdrabniacza

Zespół rozdrabniający został zbudowany według zasad konstrukcji precyzyjnych rozdrabniaczy wielokrawędziowych i igłowych, przy czym igły zostały zastąpione cienkimi nożami tarczowymi (0,8 mm) o równomiernie rozłożonych występach (rys. 1) [3].



Rys. 1. Narzędzie robocze (nóż)
Fig. 1. Working tool (knife)

Streszczenie

Artykuł prezentuje budowę systemu kontrolno-pomiarowego rozdrabniacza precyzyjnego. Zbudowany system umożliwia przeprowadzenie badań w zakresie energochłonności i efektywności energetycznej procesu rozdrabniania przy określonych parametrach wyjściowych produktu końcowego. Obecnie brak jest zadowalających i skutecznych rozwiązań technologicznych służących poprawie efektywności energetyczno-środowiskowej w aspekcie dalszego przetwórstwa w recyklingu energetycznym. Otrzymane z prób laboratoryjnych wyniki poddane dalszej analizie będą cenną wskazówką do budowy wysokoefektywnych rozdrabniaczy precyzyjnych mających zastosowanie w przetwórstwie tworzyw sztucznych oraz materiałów biologicznych.

Słowa kluczowe: system kontrolno-pomiarowy, rozdrabnianie precyzyjne, efektywność energetyczna.

The control system of a precise grinder**Abstract**

The paper presents the construction of the measurement and control system of a precise grinder (Fig. 2). Such a system enables performing investigations in the range of energy consumption and energetic efficiency of the process of comminution for the definite output parameters of the final product. At present there is a lack of satisfactory and effective technological solutions serving the improvement of energetic-environmental efficiency in the aspect of further processing in the energetic recycling [2,3]. The results obtained from laboratory tests and their analysis will be used for construction of a high - effective precise grinder, which will be implemented in the processing of polymers and biological materials. The methodology of effectiveness enhancement of selecting grinders for a wide group of materials processing includes also the state-of-the art - IT tools. A general grinding database will be built and developed using that methodology and it will continue being developed, based on the expert system.

Keywords: measurement and control system, precise grinding, energetic efficiency.

1. Wstęp

Proces rozdrabniania charakteryzuje się wysoką energochłonnością i zarazem niską sprawnością. Zapotrzebowanie energii na

Taki kształt narzędzia został wypracowany na podstawie wcześniejszych badań i symulacji z wykorzystaniem środowiska SolidWorks przeprowadzonych przez autorów (Macko, Tyszczyk) i wiąże się przede wszystkim z uzyskaniem odpowiedniej wydajności oraz wyeliminowaniem (lub zmniejszeniem ilości) obiektów nierozdrobnionych w produkcji. Sugerowana wartość obrotu noża wynosi 1 m.

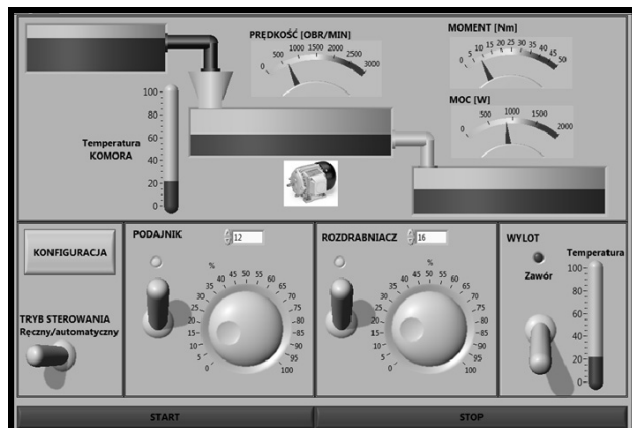
Sterowanie prędkością obrotu tarcz tnących wpływa bezpośrednio na temperaturę. Natomiast wielkość recyklatu jest wprost proporcjonalna do odległości między tarczami.

3. Budowa systemu kontrolno-pomiarowego rozdrabniacza

Główny element systemu kontrolno-pomiarowego stanowi komputer, który współpracuje z interfejsem zbudowanym na bazie mikrokontrolera AVR. Mikrokontroler prowadzi nabór i wstępne przetwarzanie danych oraz steruje urządzeniami zewnętrznymi realizując strategię zadaną przez komputer. Użytkownik ma możliwość wyboru trybu sterowania automatycznego lub ręcznego. Użytkownik posiada możliwość obserwowania na monitorze parametrów procesu i sterowania nimi w czasie rzeczywistym.

Aplikacja sterująca (rys. 2) została zbudowana z wykorzystaniem środowiska LabVIEW [6].

W momencie wciśnięcia przycisku START rozpoczyna się napełnianie komory rozdrabniacza. Po zakończeniu napełniania uruchamiany jest proces rozdrabniania podczas którego monitorowana jest temperatura w komorze rozdrabniania oraz w komorze wyjściowej. Jeśli produkt jest już gotowy, wówczas następuje otwarcie zaworu i wysypywanie gotowego produktu. Zawór pozostaje otwarty do momentu, aż całość recyklatu opuści komorę rozdrabniacza.

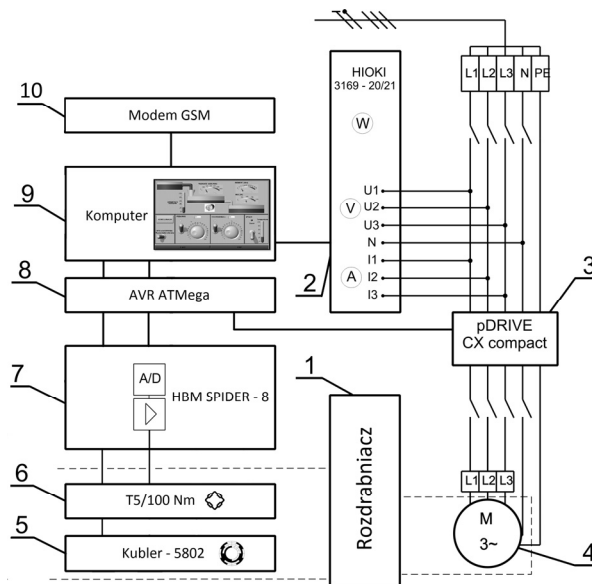


Rys. 2. Panel sterowania aplikacji komputera nadrzędnego
Fig. 2. Control panel of the main computer

Schemat systemu kontrolno-pomiarowego został przedstawiony na rysunku 3.

Prędkość obrotowa silnika jest regulowana za pomocą falownika pDRIVE CX compact. Sterowanie falownikiem wykorzystuje analogowe wejście napięciowe 0-10 V, na które podawany jest sygnał z modulatora PWM mikrokontrolera. Do pomiaru temperatury wykorzystano tani, popularne i łatwe w stosowaniu w systemach mikroprocesorowych czujniki półprzewodnikowe DS18B20, których zakres temperatur jest wystarczający do opisywanej aplikacji.

Do pomiaru mocy pobieranej podczas procesu rozdrabniania zastosowano miernik mocy firmy HIOKI; dane z miernika są bezpośrednio przesyłane do komputera łączem szeregowym.



Rys. 3. Schemat systemu kontrolno-pomiarowego rozdrabniacza
1 - rozdrabniacz, 2 - miernik mocy, 3 - falownik, 4 - silnik, 5 - enkoder, 6 - momentomierz, 7 - wzmacniacz pomiarowy, 8 - system mikroprocesorowy, 9 - komputer, 10 - modem GSM
Fig. 3. Schematic diagram of the measurement and control system
1 - grinder, 2 - power meter, 3 - inverter, 4 - motor, 5 - encoder, 6 - torque transducer, 7 - amplifier, 8 - microprocessor system, 9 - computer, 10 - GSM modem

Wyznaczenie mocy mechanicznej zostało zrealizowane na podstawie pomiaru momentu obrotowego na wale rozdrabniacza i prędkości obrotowej. Moment obrotowy jest mierzony za pomocą momentomierza T5/100 Nm podłączonego do wzmacniacza pomiarowego HBM SPIDER 8 sprzężonego bezpośrednio z komputerem.

Pomiar prędkości obrotowej jest zrealizowany z wykorzystaniem enkodera inkrementalnego.

Wszystkie mierzone parametry: prędkość obrotowa, czas pracy, moc pobierana, moment obrotowy, a także temperatura w komorze rozdrabniania i na wylocie zapisywane są do pliku.

Komunikacja między komputerem a mikrokontrolerem odbywa się poprzez łącze RS232, a ściślej mostek USB/RS232.

Ramki danych z rozkazami wysyłane są z komputera nadrzędnego z prędkością 115 200 b/s, w odstępie czasowym 0,5 sekundy. Ramki mają stałą ilość pól rozkazowych zawierających żądane wartości prędkości obrotowej oraz stany wyjść układu (włączenia/wyłączenia napełniania).

Ramki zwrotne wysyłane po odbiorze ramki rozkazowej również mają stałą ilość pól i zawierają informacje o temperaturze panującej w komorze rozdrabniania i komorze wyjściowej oraz prędkości obrotowej.

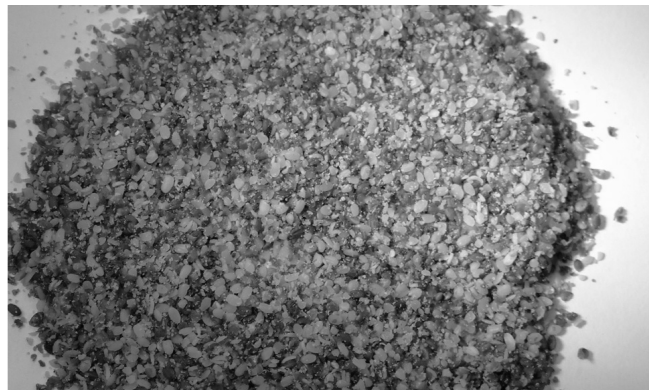
Ze względu na konieczność długotrwałej pracy urządzenia przewidziano możliwość zdalnej kontroli procesu rozdrabniania. Do tego celu został wykorzystany wbudowany w środowisko LabVIEW WebServer, który umożliwia opublikowanie stworzonego kodu wirtualnego przyrządu kontrolno-pomiarowego na stronie internetowej.

Dodatkowo została przewidziana możliwość odczytu na żądanie przez użytkownika kluczowych parametrów procesu rozdrabniania po wysłaniu rozkazu SMS z dowolnego urządzenia łączącego się z siecią GSM, oraz natychmiastowe powiadomianie o sytuacjach alarmowych np. o nadmiernym wzroście temperatury.

Wysyłanie zapytań do urządzenia jest możliwe tylko z określonych w programie numerów abonentów telefonii komórkowej, podobnie rzecz ma się z SMS-ami alarmowymi - będą wysyłane tylko na zdefiniowane numery. Realizacja komunikacji GSM została przeprowadzona z wykorzystaniem modemu GSM komunikującego się z komputerem nadrzędnym za pomocą komend AT.

4. Możliwości przeprowadzenia badań

Zbudowane stanowisko badawcze umożliwia przeprowadzenie badań w zakresie rozdrabniania materiałów biologicznych np. lnu (produkt wyjściowy pokazany na rys. 4) jak i polimerów (rys. 5).



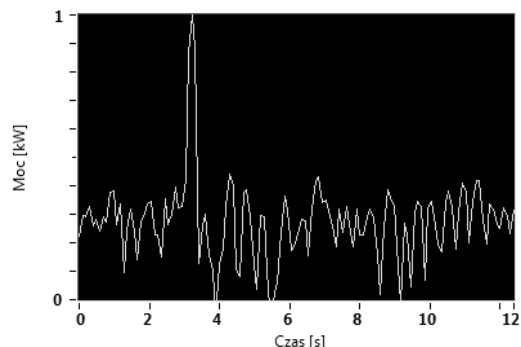
Rys. 4. Produkt rozdrabniania - nasiona lnu
Fig. 4. Product shredding - the seed of flax



Rys. 5. Produkt rozdrabniania - polimer
Fig. 5. Product shredding - the polymer

Zbierane podczas pomiarów informacje pozwolą na określenie optymalnych parametrów procesu rozdrabniania: prędkości obrotowej oraz odległości między tarczami tnącymi prowadzącymi do minimalizacji zużytej energii elektrycznej przy jednoczesnym uzyskaniu najlepszych cech jakościowych produktu końcowego.

Przykładowy przebieg zapotrzebowania mocy podczas procesu rozdrabniania materiału polimerowego dla prędkości obrotowej 1300 obr./min. przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania
Fig. 6. Power demand during work-shredding

5. Podsumowanie

Prezentowane stanowisko badawcze powstało dzięki połączeniu wiedzy z zakresu mechaniki i budowy maszyn oraz elektronicznych systemów kontrolno-pomiarowych.

W ramach pełnej automatyzacji procesu rozdrabniania przewiduje się docelowo zastosowanie podukładu służącego do zmiany odległości pomiędzy tarczami tnącymi oraz do analizy wielkości produktu wyjściowego w trakcie procesu rozdrabniania. W tym celu planuje się wykorzystać moduł wizyjny środowiska LabVIEW sprzężony z kamerą inteligentną.

Układ kontrolno-pomiarowy może być w łatwy sposób zaadaptowany do rozdrabniacza o innej konstrukcji; wykorzystanie LabVIEW jako środowiska bazowego umożliwia stosunkowo prostą i szybką rozbudowę aplikacji.

6. Literatura

- [1] Malkin S., Guo C.: Grinding technology. Theory and applications of machining with abrasives. Industrial Press Inc., New York 2008.
- [2] Flizikowski J.: Micro- and Nano-energy grinding. Pan Stanford Publishing, Singapore 2011.
- [3] Macko M.: Metoda doboru rozdrabniaczy wielokrawędziowych do przeróbki materiałów polimerowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2011.
- [4] Pahl M. H.: Zerkleinerungstechnik. Praxiswissen Verfahren-technik. Mechanische Verfahrenstechnik. TÜV Rheinland Auflage, Köln 1993.
- [5] Malkin S., Guo C.: Thermal Analysis of Grinding. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 56, no. 2, s. 760-782, 2007.
- [6] Lesiak P., Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa w przykładach. PAK, Warszawa 2002.

otrzymano / received: 12.07.2013

przyjęto do druku / accepted: 02.09.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Wersja elektroniczna miesięcznika PAK

Artykuły opublikowane w PAK po roku 1989 są dostępne w wersji elektronicznej m.in. w bazie artykułów PAK (www.pak.info.pl), w folderze „Archiwum numerów miesięcznika PAK”:

- pełne teksty artykułów z poprzednich lat i streszczenia artykułów najnowszych można pobrać bezpłatnie,
- pełne teksty artykułów z bieżącego roku można otrzymać za opłatą (5 PLN +1,15 PLN VAT).