



Józef FLIZIKOWSKI, Adam MROZIŃSKI, Andrzej TOMPOROWSKI

STANOWISKO MONITOROWANIA CHARAKTERYSTYK UŻYTKOWYCH ROZDRABNIANIA

Streszczenie

Badania rozdrabniaczy wielotarczowych ujawniają możliwość poznania, opisanie i projektowo-konstrukcyjnego wykorzystania charakterystyk, podających związki między prędkościami ruchu jałowego i pod obciążeniem a wskaźnikami użytkowymi rozdrabniania. Dla weryfikacji modeli matematycznych niezbędne są zatem narzędzia monitorowania. Narzędziem pomocnym w badaniach rozdrabniaczy jest zbudowane w UTP w Bydgoszczy stanowisko monitorowania charakterystyk użytkowych rozdrabniania. Celem pracy jest przedstawienie możliwości badawczych stanowiska monitorowania użytkowych charakterystyk rozdrabniania: mocy, wydajności i jednostkowego zużycia energii, dla materiałów biologicznych, typu ziarniaki zbóż w zespole wielootworowym, pięciotarczowym. Zaproponowane i zweryfikowane modele, ułatwią dobór optymalnych cech konstrukcyjnych i parametrów procesu rozdrabniania wielotarczowego. Modele i adekwatne zależności matematyczne, pozwalają na skuteczne i efektywne projektowanie oraz planowanie wykorzystania wielootworowych układów rozdrabniania.

1. WPROWADZENIE

Z prowadzonych badań własnych oraz doświadczeń innych badaczy wynika, że rozdrabniacze wielotarczowe wykazują możliwość poznawania i opisywania oraz projektowo-konstrukcyjnego wykorzystywania charakterystycznych właściwości, kojarzących zależności między prędkościami, ruchem jałowym, obciążeniami, sterowaniem, regulacją, kompensacją a wskaźnikami zmiennych parametrów ruchu w przestrzeni rozdrabniania.

Z analizy literatury w zakresie prezentowanego zagadnienia wynika, że tematyka charakterystyk użytkowych rozdrabniaczy wielotarczowych poruszana była tylko fragmentarycznie [1, 2, 3, 4, 7, 9, 11]. Studiując światową literaturę przedmiotu nie natrafiono na całościowe ujęcie charakterystyk ruchowo-użytkowych wielotarczowego rozdrabniania ziaren biomasy. Podjęte zagadnienie jest nowatorskim spojrzeniem dającym możliwość projektowania i konstruowania innowacyjnych, sprawnych, energooszczędnych i inteligentnych maszyn a nawet całych systemów rozdrabniających w przemysłowym przetwórstwie rolno-spożywczym; materiałów, surowców i odpadów. Stąd celowym i koniecznym było zbudowanie i opomiarowanie z informatyzowanego stanowiska badawczego dla realizacji i weryfikacji naukowych rozważań, stanowiących merytoryczne podstawy do opracowania niskochłonnych energetycznie procesów rozdrabniania biomasy.

Celem pracy jest przedstawienie możliwości badawczych stanowiska do wyznaczania i monitorowania użytkowych charakterystyk rozdrabniania: mocy, wydajności i jednostkowego zużycia energii, dla materiałów biologicznych, typu ziarniaki zbóż w zespole wielootworowym, pięciotarczowym. Dodatkowo podjęto próbę odpowiedzi na pytanie: czy na podstawie aktualnego stanu wiedzy i techniki, analizy otrzymywanych ze stanowiska wyników (charakterystyk użytkowych) oraz eksploatacji rozdrabniaczy z układami napędowymi, można dokonać systematyzacji rozwiązania rozdrabniacza i układów napędowych, wyboru wytycznych do projektowania sterowanych układów napędowych, zaprojektowania, realizacji i badań sprawdzających oryginalnej koncepcji roboczej?

2. CHARAKTERYSTYKI UŻYTKOWE

Przebiegi charakterystyk użytkowych, zmiennych wynikowych wielotarczowego, wielootworowego rozdrabniania: zapotrzebowania mocy ($P_R=f(n)$), stopnia rozdrobnienia ($\lambda=f(n)$), wydajności masowej, celowej ($Q_m=f(n)$, $Q_c \leq Q_m$) i jednostkowego zużycia energii ($E_j=f(F_T)$), zależą od: powierzchni wspólnej pary krawędzi otworów (S_c, S_T), gęstości i objętości ziarna w przestrzeni działania (ρ_m, V_g), prędkości obrotowej, kątovej, liniowej, elementu i czasu ($n, \omega, v, \Theta, t_i$) 0- $L(P_R, \lambda, Q_m, Q_c) = P(S'_c, S_T, \tilde{\rho}_n^{m+1}, V_g, n, \omega, v, \Theta, t_i)$; również od dozowania objętościowego, masowego wsadu $q(0;1)$. Przebiegi charakterystyk użytkowych rozdrabniania, zależne od ruchu ziarna, elementów konstrukcji rozdrabniacza nazwano charakterystykami ruchowymi ziarna [1,2,7-11].

Założenie: Relacje ruchu, stany i przemiany ruchu cząstek rozdrabnianych i części rozdrabniających, ich przemieszczenia (p), mieszanie (m), rozdrabnianie (r) ziaren i ich cząstek ($p-m-r$) zależą, m.in. od warunków tarcia, zderzeń, cięcia, cech konstrukcyjnych tarcz i rozmieszczenia otworów w tarczach. Dynamiczne przemieszczanie elementów (części) konstrukcji maszyny i ziaren (cząstek) ($p=p_m+p_z$), następuje w warunkach ruchu jałowego i obciążenia roboczego, dynamicznej realizacji celu zewnętrznego ($p_m=p_j+p_r+p_d$), ruchu osiowego i promieniowego ziaren ($p_z=p_o+p_p$) w przestrzeni otworowo-tarczowej o zdeterminowanych: przekrojach S i objętości V ; sterowanej, regulowanej lub kompensowanej [5, 6, 8, 10].

Przebiegi zmiennych wynikowych: zapotrzebowania mocy ($P_R=f(n)$), stopnia rozdrobnienia ($\lambda=f(n)$), wydajności masowej, celowej ($Q_m=f(n)$, $Q_c \leq Q_m$), w zależności od: prędkości obrotowej, kątovej, liniowej elementu rozdrabniającego $n, \omega, v=f(f_{si})$; dozowania (objętościowego, masowego wsadu) $q(0;1)$, nazwano zależnie od stanu i przemian rozdrabniania ziarna, charakterystykami: biegu jałowego, obciążenia, zewnętrznymi, sterowania, regulacji i kompensacji.

2.1. Charakterystyka biegu jałowego

Charakterystyką identyczną dla stanów i przemian wszystkich przestrzeni wielootworowych rozdrabniających zespołów wielotarczowych jest zmienne zapotrzebowanie mocy P_{Rjm} w zależności od prędkości obrotowej zespołów i elementów rozdrabniacza n_m (charakterystyka biegu jałowego maszyny) - bez materiału rozdrabnianego:

$$P_{Rjm} = f(n_m), q(0) \quad (1),$$

co w zależności od prędkości liniowej elementu rozdrabniającego v_R ma postać:

$$P_{Rjm} = k_{1m} \cdot v_R, \text{ dla: } q(0), Q_m = 0, Q_c = 0 \quad (1a)$$

podobnie moc $P_{Rj(m+z)}$ dla ruchu jałowego maszyny z ziarnem (zasilanie ziarnem q , przemieszczanie elementów maszyn i ziarna z prędkością n_{m+z} , bez rozdrabniania):

$$P_{Rj(m+z)} = f(n_{m+z}), q(0; 1) \quad (2),$$

co prowadzi do zależności uwzględniającej objętość ziarna V_g^- przemieszczanego między tarczami materiału:

$$P_{Rj(m+z)} = k_{2(m+z)} \cdot v_R \cdot f(V_g^-), \text{ dla: } q(0;1), Q_m = \frac{dm}{dt}, Q_c = 0 \quad (2a)$$

Zależności od (1) do (2a) wymagają badań w kierunku wyznaczenia modułów ruchu jałowego i obliczeń funkcjonalnej objętości przemieszczanego materiału:

$$k_{1m}, k_{2(m+z)}, f(V_g^-)$$

Model mocy (2a) na jałowy ruch elementów maszyny (bez realizacji rozdrabniania, samo przemieszczanie ziaren), jest zależnością poboru mocy od prędkości obrotowej, przy zerowym lub stałym zasilaniu, bez zmiany wymiaru ziaren, bez wydajności rozdrabniania, wydajności celowej równej zero ($Q_c=0$), ale z wydajnością przemieszczania lub wydajnością równą zasilaniu, bez rozdrabniania $Q_m = \frac{dm}{dt}$. Charakterystyka biegu jałowego jest szczególnym przypadkiem charakterystyk obciążenia. Przebiegi jej, odpowiadają charakterystyce mocy mieszania ($P_R=P_m$).

2.2. Charakterystyka obciążenia

Dla różnych prędkości obrotowych tarcz (prędkości liniowej v_R na promieniach wodzących krawędzi otworów przepustowo-rozdrabniających), zmiennego zasilania/dozowania ziarna $q(0;1)$ otrzymuje się zmienne stopnie rozdrobnienia, wydajności masowe i celowe (obciążenia rozdrabnianiem zupełnym), zdecydowanie różne wydajności masowe Q_m i celowe Q_c (pożądanego wymiarowo, geometrycznie produktu).

Moc na rozdrabnianie obejmuje składowe obciążenia jałowych, rozdrabniających i zwyczajki dynamicznej od złożoności zjawisk:

$$P_{Ro} = P_{Rj(m+z)} + P_{Rr} + P_{Rd}, \text{ dla: } q(0;1), \\ \text{przy } \lambda = f(n, \Delta n) \neq 1, Q_m = f(n, \Delta n) = \frac{dm}{dt}, Q_c \neq 0 \quad (3),$$

Można zaproponować opis doświadczalny mocy pobieranej pod obciążeniem związanym z przekrojami masy ziarna w otworach rozdrabniających S_c i na powierzchniach międzyczarczowych S_T , w postaci zależności ogólnej, uwarunkowany poprzez od prędkości krawędzi rozdrabniającej v_R [9, 10]:

$$P_{Ro} = (k_{2(m+z)} \cdot f(V_g^-) + \tau \cdot f(S_c, \tilde{\rho}_n^{m+1}, V_g^-) + \varepsilon_d \cdot \tau \cdot f(S_c, S_T, \tilde{\rho}_n^{m+1})) \cdot v_R \quad (3a)$$

Zależności (3) i (3a) wymagają badań w kierunku wyznaczenia modułu zwyczajki dynamicznej i obliczeń prawdopodobnych przekrojów, uczestniczących w rozdrabnianiu materiału:

$$\varepsilon_d, S_c, S_T, \tilde{\rho}_n^{m+1}$$

2.3. Charakterystyka zewnętrzna

Dla zmiennego zasilania masą, mocą, oraz informacją, powstają falownikowe warunki ruchu silników napędzających poszczególne tarcze (od pierwszej do piątej), zmienne prędkości obrotowe (kątowe, liniowe) poszczególnych tarcz ($\Delta n \neq \text{const}$) i zmienne momenty obrotowe w zakresie bilansowania mocy rozdrabniania ($P_R=f(\Delta n_{ij})$). Wywołują konieczność utrzymania minimalnej mocy na rozdrabnianie ($P_R=P_{Rmin}$), maksymalnej wydajności masowej ($Q_m=Q_{mmax}=\text{const}$), często - losowych przebiegów wydajności produktu celowego ($Q_c \neq Q_m$).

Moc na rozdrabnianie obejmuje składowe obciążenia jałowych, rozdrabniających i zwyczajki dynamicznej od złożoności zjawisk (wg równania (3a)), dla:

$$q(0;1), \text{ przy } \lambda = f(n, \Delta n_{ij}), Q_m = f(n, (\Delta n_{ij})) = \frac{dm}{dt} \Rightarrow \text{max}, Q_c \neq Q_m, \quad (4)$$

Jako rozwinięcie prezentowanej zależności można zaproponować opis doświadczalny dla zmiennego zasilania mocą z prędkością rozdrabniania, np. wg równania (3a). Wymaga to dodatkowych badań, w kierunku wyznaczenia modułu zwyżki dynamicznej i obliczeń prawdopodobnych przekrojów, uczestniczących w rozdrabnianiu materiału – również jak dla równania (3a).

Wydajność masową rozdrabniania Q_m , maksymalizowaną z charakteru uwarunkowań zewnętrznych, opisuje zależność od czasu rozdrabniania t_R , przekrojów i objętości S_c, S_T, V_g oraz prędkości obrotowych tarcz i różnic prędkości między tarczami $n, \Delta n_{ij}$:

$$Q_m = \frac{f(\tilde{\rho}_n^{m+1}, S_c, S_T, V_g, n, \Delta n_{ij})}{t_R} \Rightarrow \max \quad (4a)$$

2.4. Charakterystyki sterowania

Powstają dla zmiennego zasilania masą, zmiennego strumienia rejestracji i przetwarzania danych, realizacji falownikowych warunków ruchu silników napędzających poszczególne tarcze robocze, zmiennej prędkości obrotowej (kątovej, liniowej) tarcz ($\Delta n \neq \text{const}$) i zmiennego momentu obrotowego, mocy rozdrabniania ($P_R = f(\Delta n)$) wydajności masowej, jako funkcji zależnych od różnicy prędkości obrotowej tarcz roboczych $Q_m = f(n, \Delta n_{ij}) = \frac{dm}{dt}$, jej zgodności z wydajnością produktu celowego ($Q_c \leq Q_m$).

Moc zużywana na rozdrabnianie ze sterowanymi, zasilanymi wejściami energetycznymi, masowymi i informacyjnymi procesu, z realizacją funkcji celu, obejmuje składowe obciążenia jałowych, rozdrabniających i zwyżki dynamicznej - od złożoności zjawisk (wg zależności (3a)), dla celów określonych jako [7]:

$$q(0; 1), \text{ przy } \lambda = f(n, \Delta n_{ij}), Q_m = f(n, \Delta n_{ij}) = \frac{dm}{dt}, Q_c \leq Q_m, E_j \Rightarrow \min \quad (5)$$

Jednostkowe zużycie energii na rozdrabnianie z zachowaniem równania charakterystyki zewnętrznej (4a) wyniesie:

$$E_j = \frac{P_R(\tilde{\rho}_n^{m+1}, S_c, S_T, V_g, n, \Delta n_{ij})}{Q_m(\tilde{\rho}_n^{m+1}, S_c, S_T, V_g, n, \Delta n_{ij})} \Rightarrow \min \quad (5a)$$

2.5. Charakterystyki regulacji

Dla pełnego, stałego zasilania masą, zmiennego strumienia zewnętrznych informacji i przetwarzania danych na wejściu i wyjściu maszyny, w kierunku realizacji falownikowych warunków ruchu silników napędzających poszczególne tarcze robocze, realizowane są zaplanowane zadania przy zmiennej prędkości obrotowej (kątovej, liniowej) poszczególnych tarcz ($\Delta n \neq \text{const}$ i $q = \text{const}$). Charakterystyki powstają w warunkach zmiennego momentu obrotowego, zmiennej mocy rozdrabniania ($P_R = f(n, \Delta n_{ij})$), w kierunku jej minimalizacji ($P_R = P_{Rmin}$), a także regulacji procesu dla otrzymania postulowanego stanu granulometrycznego przemiału, stałego w czasie stopnia rozdrobnienia ($\lambda = \text{const}$ i $\lambda \neq 1$) z jednoczesnym utrzymaniem stałej maksymalnej wydajności masowej ($Q_m = Q_{mmax} = \text{const}$) i jej zgodności z wydajnością produktu celowego ($Q_m \approx Q_c$), poprzez eliminowanie wpływu zakłóceń realizowanego rozdrabniania.

Moc zużywana na rozdrabnianie z realizacją funkcji regulacji procesu, wg (3a), obejmuje składowe obciążenia jałowych, rozdrabniających i zwyżki dynamicznej - od złożoności zjawisk regulacji prędkości tarcz i dozowania wsadu ziaren, dla:

$$q(1); \text{ przy } \lambda = \text{const} \text{ i } \lambda \neq 1, Q_m = Q_{mmax} = \text{const}, Q_m \approx Q_c \quad (6)$$

Charakterystyka regulacji określa stan nastaw podstawowych parametrów pracy maszyny i procesu, który dalej pozwoli tak wysterować procesem, by uzyskać założony cel mimo występowania zakłóceń. Terminem zakłóceń oznaczane są wszystkie niedokładności

(nierównomierności) przekrojów cięcia, przepływów objętości, które nie prowadzą do zadanego, stałego stopnia rozdrobnienia otrzymywanego produktu. Zatem, prowadzą do postulowanego, niezakłóconego stanu:

$$\text{oraz} \quad \begin{cases} \lambda = \text{const} \text{ i } \lambda \neq 1 \\ S_c = \text{const} \\ V_{\bar{g},\text{max}} = \text{const} \end{cases}$$

czyli minimalnego jednostkowego zużycia energii, niezależnego od powierzchni, objętości $S_c, S_T, V_{\bar{g}}$, a zależnego od dozowania ziaren i prędkości tarcz $q, n, \Delta n_{ij}$, co określa zależność:

$$E_j = \frac{P_R(\bar{\rho}_n^{m+1}, q, n, \Delta n_{ij})}{Q_c(\bar{\rho}_n^{m+1})} \Rightarrow \min, \quad \text{gdzie: } Q_c = \text{const} \text{ i } Q_m \Rightarrow Q_c \quad (6a)$$

2.6. Charakterystyki kompensacji

Tworzone są podobnie, jak dla charakterystyki regulacji, ale z kompensacją zakłóceń, dla postulowanych stanów:

$$q(0; 1), \text{ przy } \lambda = \text{const}, Q_m = Q_{\text{mmax}} = \text{const}, Q_m \approx Q_{\text{cm}} \quad (7)$$

Charakterystyka kompensacji określa podstawowe parametry pracy maszyny i procesu w celu sterowania procesem z jednoczesną kompensacją zakłóceń i zniekształceń przekrojów cięcia i przepływy objętości dla uzyskania założonego celu:

$$\begin{aligned} \lambda &= \text{const} \text{ i } \lambda \neq 1 \\ \text{oraz} \\ Q_c &\Rightarrow Q_{\text{cmax}} = \text{const} \end{aligned}$$

Jednostkowe zapotrzebowanie energii określa zależność:

$$E_j = \frac{P_R(\bar{\rho}_n^{m+1}, q, n, \Delta n_{ij})}{Q_{\text{cmax}}} \Rightarrow \min, \quad (7a)$$

Każdy ze stanów i przemian charakteryzowanego rozdrabniania powstaje na skutek innych właściwości ruchowych maszyny, materiału, procesu, wymaga więc specjalistycznych obliczeń, symulacji, badań, analiz i ocen zjawisk oraz procesów.

3. STANOWISKO MONITOROWANIA

Projektowanie i konstruowanie układów badawczych rozdrabniaczy jest dużym inżynierskim wyzwaniem. Zdobyte doświadczenia wskazują, że tworzenie uniwersalnego układu rozdrabniającego nie jest proste, m. in. ze względu na wysoką energochłonność procesów. Rozdrabnianie stało się powszechne w wielu gałęziach gospodarki: przemyśle spożywczym i chemicznym, górnictwie, budownictwie, itp.

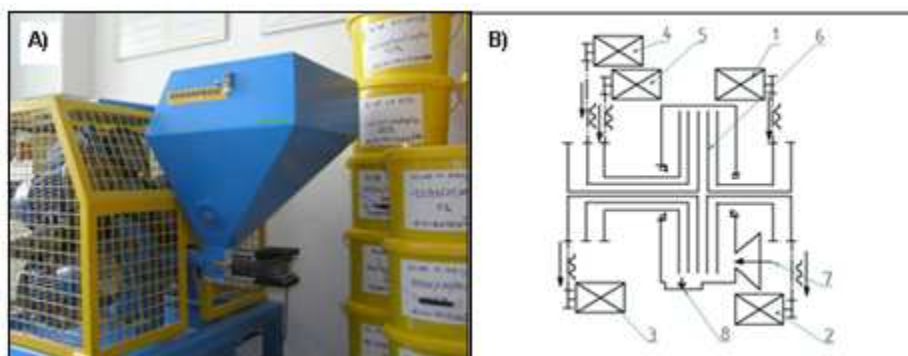
Mimo, że sam proces rozdrabniania jest definiowany w literaturze według różnych kryteriów, to przyjęło się stosować jego nieskomplikowaną definicję: „rozdrabnianie polega na podziale ciała stałego na części o mniejszych wymiarach”. W praktyce jednak polega na łączeniu wielorakich podstawowych sposobów mechanicznego oddziaływania: rozrywanie, ściskanie, zginanie, skręcanie i ścinanie oraz rozłupywanie, przecinanie czy nawet skrobanie, aż do przekroczenia wytrzymałości mechanicznej, co w rezultacie powoduje podział ciała na jego mniejsze elementy [7].

Obserwowany wzrost zastosowania biomateriałów m.in. dla celów energetycznych, stawia przed konstruktorami nowe wyzwania związane z powszechnym i masowym stosowaniem tych technologii w przetwórstwie energetycznym. Największym jednak problemem występującym podczas rozdrabniania tych anizotropowych, niejednorodnych

produktów jest dobór odpowiednich parametrów, które umożliwiają otrzymanie przemiału o odpowiednich wymiarach i kształtach.

3.1. Idea konstrukcji

Badania charakterystyk użytkowych rozdrabniania ziaren biomasy w wielootworowej przestrzeni roboczej prowadzono według konstrukcyjnej idei rozdrabniacza pięciotarczowego RWT-5:KZ (Rys. 1A), ZSTiOŚ WIM UTP w Bydgoszczy. Zespoły rozdrabniające napędzane są pięcioma silnikami elektrycznymi, trójfazowymi 1.42 kW każdy. Napęd z silników do tarcz roboczych przekazywany jest indywidualnie za pomocą przekładni pasowo-zębatych (Rys. 1B).



Rys.1. Rozdrabniacz pięciotarczowy, wielootworowy nowej generacji RWT-5KZ: A) widok ogólny, B) schemat kinematyczny rozdrabniacza: 1, 2, 3, 4, 5 – silniki elektryczne, 6 – tarcze rozdrabniacza, 7 – kierunek podawania materiału, 8 – odbiór materiału

Źródło: opracowanie własne

Monitorowanie charakterystyk użytkowych jest, warunkiem koniecznym do pomiaru, rejestracji, gromadzenia, przetwarzania, poznania i opisu zjawisk/procesów zachodzących/realizowanych podczas rozdrabniania. Jednocześnie dane pomiarowe zarejestrowane w bazie danych systemu mogą służyć jako dane wejściowe dla zaawansowanych algorytmów analitycznych (genetycznych), których zadaniem jest automatyczne generowanie sygnałów sterujących (inteligentnie) pracą maszyny. Informacje, jakie można uzyskać dzięki zastosowaniu inteligentnych urządzeń pomiarowych, rejestrujących dane pomiarowe z dużą częstotliwością próbkowania, tworzą szerokie możliwości badawcze i analityczne.

3.2. Idea badań

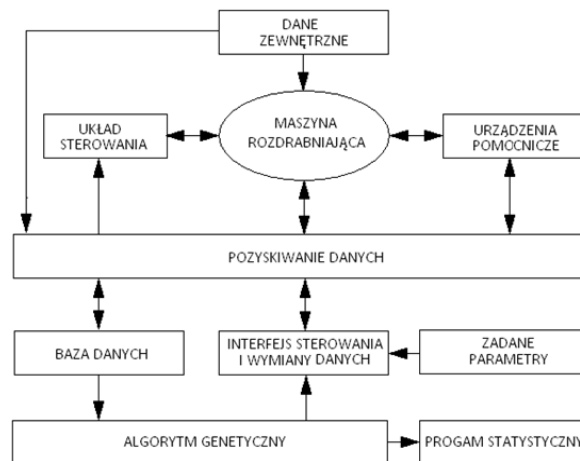
Ideę badawczą oparto o zweryfikowaną w praktyce aplikację informatyczną ERCO.Net firmy NMG Sp. z o.o. w Bydgoszczy. Wykorzystano doświadczenia zespołu inżynierskiego w projektowaniu systemów monitorowania i rejestrowania wielkości fizycznych pochodzących z różnych procesów technologicznych. Uwzględniono dotychczasowe wyniki badań; procesu rozdrabniania, budowy rozdrabniaczy oraz tworzenia szczegółowych programów badawczych rozdrabniaczy tarczowych.

Informatyczną część systemu, oparto o aplikację systemu monitorowania mediów energetycznych z bazami danych. Dobudowano specjalistyczny interfejs programistyczny i sterowniczy pozwalający na połączenie zewnętrznego algorytmu genetycznego z drajwerem aplikacji ERCO.Net. Drajwer jako sterownik komunikacyjny jest odpowiedzialny za pozyskiwanie danych z urządzeń pomiarowych rozdrabniacza, a równocześnie spełnia rolę

urządzenia pośredniczącego w przekazaniu sygnału sterującego prędkością obrotową tarcz i kierunkiem ich obrotu, pochodzącego od algorytmu genetycznego. Ponadto zarejestrowane serie danych w postaci oscylogramów można wyeksportować do zewnętrznych analitycznych narzędzi informatycznych tj. MS EXCEL, STATISTICA. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy pomiarowego algorytmu systemu rozdrabniania poprzez monitorowanie charakterystyk użytkowych procesu.

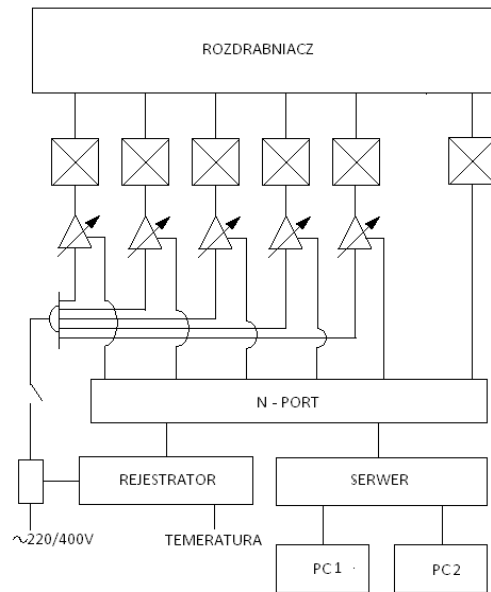
System rejestrowania i monitorowania charakterystyk użytkowych rozdrabniania wielootworowego powstał w oparciu o koncepcję informatyczną polegającą na scentralizowaniu wszystkich danych pomiarowych w jednej bazie danych. Jako bazę danych wykorzystano istniejącą bazę MS SQL systemu ERCO.Net. Utworzono dodatkowo:

- sterownik komunikacyjny (drajwer) do obsługi falowników pDrive,
- zapis danych rejestrowanych przez każdy falownik w formie plików (oscylogramów),
- interfejs programistyczny wymiany danych z i do systemu ERCO.Net
- rozbudowę modułu analitycznego w oparciu o algorytm genetyczny, pozwalający na dosterowywanie procesu rozdrabniania,
- plik wymiany danych z aplikacji PSI-GAD do systemu ERCO.Net,
- Export danych do MS EXCEL.



Rys.2. Algorytm monitorowania ze sterowaniem, regulacją i kompensacją charakterystyk użytkowych rozdrabniania

Źródło: opracowanie własne



Rys.3. Schemat ideowy badań w systemie rejestrująco-monitorującym charakterystyk użytkowych procesu rozdrabniania wielotarczowego

Źródło: opracowanie własne

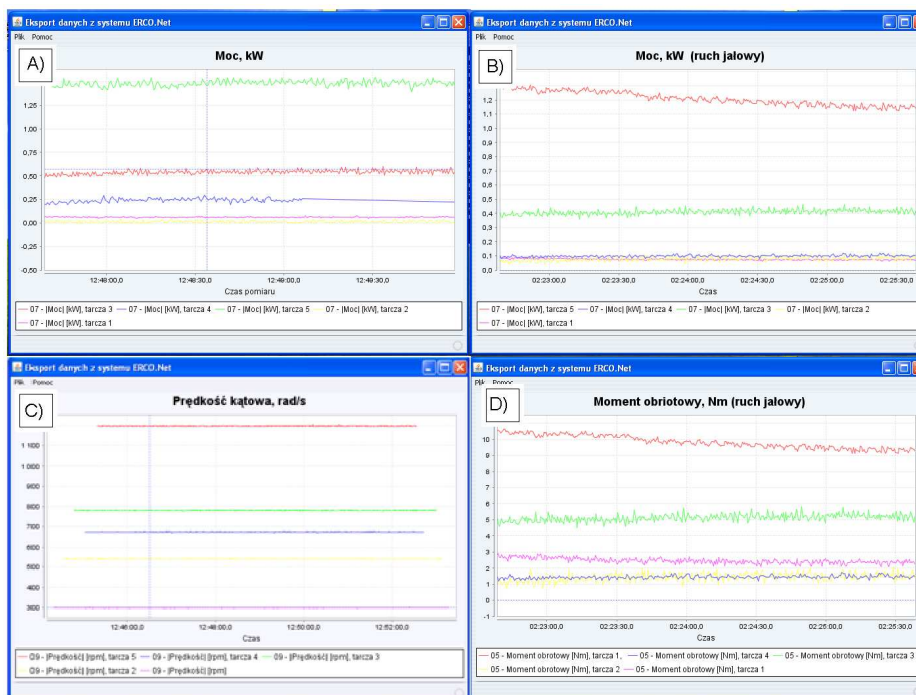
Monitorowanie obejmuje: pięć silników napędzających, pięć tarcz roboczych, układ pięciu niezależnych falowników typu pDrive (wyposażonych w interfejs RS485, poprzez który można dokonywać odczytu danych oraz sterować pracą silników (VATECH)), dozownik ślimakowy materiału rozdrabnianego z interfejsem, licznik energii elektrycznej. By odczyt danych z każdego falownika odbywał się jednocześnie, zastosowano wieloportowy konwerter RS485/Ethernet (N-port). Poprzez ten sam N-port odczytywany jest licznik energii elektrycznej EAP. Na rysunku 3 przedstawiono ideę działania systemu monitorowania charakterystyk użytkowych rozdrabniania w docelowej strukturze.

3.3. Materiał badany

Jako materiał wsadowy używano ziaren ryżu, pszenżyta i kukurydzy o stabilizowanych właściwościach próbek, szczególnie wilgotnościowych. Fakt wyznaczania charakterystyk użytkowych, np. ruchowych rozdrabniaczy wielotarczowych, stwarza możliwość dokładnego określenia postulowanych w danej rzeczywistości wartości wielkości fizycznych charakteryzujących analizowany proces przetwórczy. Niespełnienie powyższego oznacza prowadzenie procesu rozdrabniania w sposób konwencjonalny, tzn. bez sterowania wypełnieniem masowym przestrzeni rozdrabniania, czyli bez sterowania wydajnością.

4. WYNIKI I DYSKUSJA

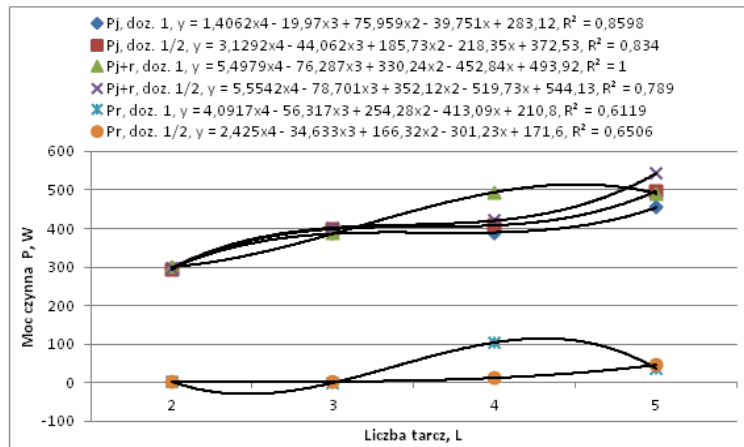
W celu wyznaczenia charakterystyk biegu jałowego ($k_{1m}, k_{2(m+z)}, f(V_{\bar{g}})$), obciążenia ($\epsilon_d, (S_c, S_T, \tilde{\rho}_n^{m+1})$), wydajności $Q_m = \frac{f(\tilde{\rho}_n^{m+1}, S_c, S_T, V_{\bar{g}}, n, \Delta n_{ij})}{t_R} \Rightarrow \max$, jednostkowego zużycia energii $E_j = \frac{P_R(\tilde{\rho}_n^{m+1}, S_c, S_T, V_{\bar{g}}, n, \Delta n_{ij})}{Q_m(\tilde{\rho}_n^{m+1}, S_c, S_T, V_{\bar{g}}, n, \Delta n_{ij})} \Rightarrow \min$, badaniom poddano: zapotrzebowanie mocy, momenty obrotowe i prędkości kątowne tarcz roboczych rozdrabniacza pięciotarczowego (Rys. 4)



Rys.4. Obrazy z rejestracji parametrów pracy rozdrabniacza pięciotarczowego, wielootworowego RWT-5KZ na stanowisku monitorowania charakterystyk użytkowych rozdrabniania: A) zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania ziaren ryżu o stabilizowanej wilgotności 13,3%, zasilanie surowcem połowiczne (1/2); B) zapotrzebowanie mocy podczas biegu jałowego; C) prędkość kątowna tarcz podczas biegu jałowego; D) moment obrotowy, bieg jałowy

Źródło: opracowanie własne

Analizie poddano również moc czynną P , pobraną przez maszynę na poszczególnych tarczach z uwzględnieniem wydajności dozownika ziarna (Rys.5). Daje się zauważyć wpływ prędkości kątowych poszczególnych tarcz na ich zapotrzebowanie mocy podczas realizacji procesu rozdrabniania. Wyznaczone punkty pomiarowe połączono krzywymi regresji celem wyznaczenia tendencji zmian mocy czynnej i współczynników charakterystyk obciążenia. Dla wyznaczenia charakterystyki zewnętrznej pracy rozdrabniaczy wielotarczowych analizowano wydajność masową Q_m procesu rozdrabniania przy zastosowaniu zmiennej liczby tarcz od 2 do 5 i zmiennego sposobu dozowania ziarna. Otrzymane wyniki liczbowe dla ziaren pszenżyta zestawiono w tabeli 1. Przykładowe wyniki w postaci obrazów zapisów przedstawiono na wykresie (Rys 6).



Rys. 5. Obraz z rejestracji mocy czynnej pobranej na ruch jałowy (P_j), roboczy (P_{j+r}), oraz na „czyste” rozdrabnianie (P_r) ziaren kukurydzy dla zmiennej liczby tarcz (2-7) oraz dla zmiennego sposobu dozowania ziarna kukurydzy

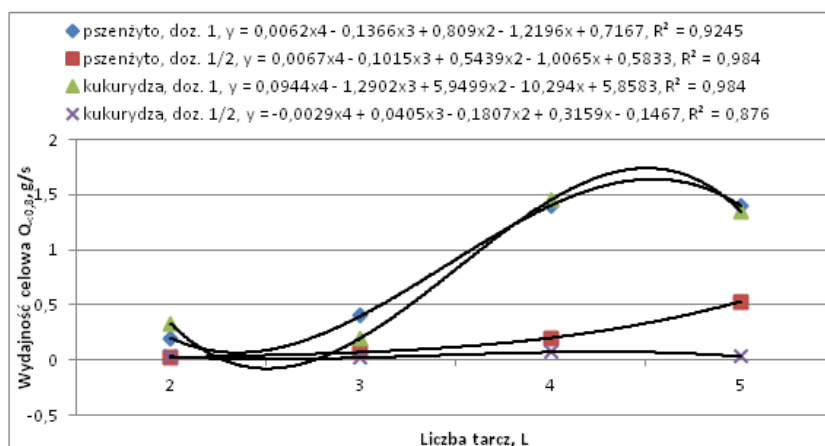
Źródło: opracowanie własne

Tab.1. Wyniki badań rozdrabniania ziaren pszenżyta

	Ilość tarcz	Dozowanie		Wymiar śred. ziarna, mm	Wydajność masowa Q, g/s	Fracje przemiału, %			Wydajność celowa, g/s		
		1	1/2			< 0,8 mm	0,8÷1,6 mm	>1,6 mm	$Q_{<0,8}$	$Q_{0,8÷1,6}$	$Q_{>1,6}$
Ziarna pszenżyta	2		x	3,5	3,38	0,5	3	96,5	0,02	0,12	3,70
	2	x		3,5	52,6	0,4	2	97,6	0,20	0,90	
	3		x	3,5	4,9	1	6	93	0,07	0,30	4,57
	3	x		3,5	37,8	1	4	95	0,40	1,35	4,00
	4		x	3,5	5,2	4	19	77	0,20	1,00	
	4	x		3,5	43	3	13	84	1,40	5,60	
	5		x	3,5	15	4	18	78	0,53	2,73	
	5	x		3,5	42	3	13	84	1,40	5,30	7,50

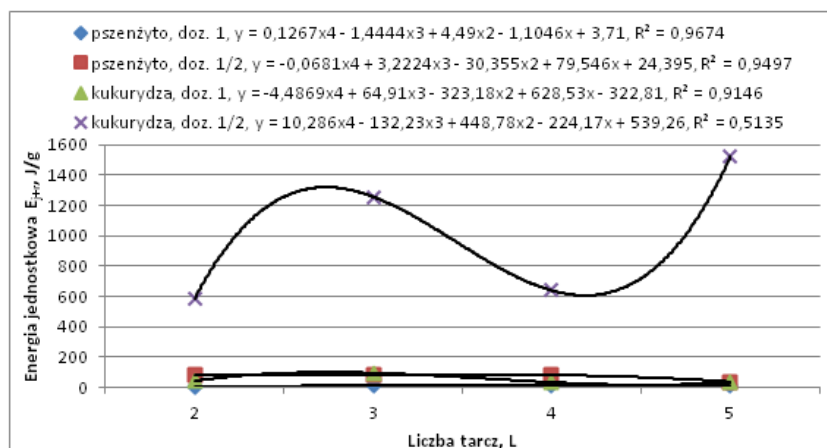
Źródło: opracowanie własne

Analizując uzyskane na stanowisku badawczym w warunkach laboratoryjnych wyniki badań doświadczalnych, a także systematyzacji i obliczeń należy stwierdzić, że występują wzajemne relacje w badanym układzie wielootworowego, wielotarczowego zespołu roboczego rozdrabniaczy ziaren biomasy: wypełnienia przestrzeni transportowo-rozdrabniającej, mocy, wydajności celowej i masowej procesu oraz prędkości liniowych (obwodowych), obrotowych tarcz roboczych (tabela 1).



Rys. 6. Procentowe wartości wydajności celowej $Q_{20\% < 1,6}$ dla zmiennej liczby tarcz (2÷7) oraz dla zmiennego sposobu dozowania ziarna pszenżyta i kukurydzy, w odniesieniu do wydajności masowej Q_m

Źródło: opracowanie własne

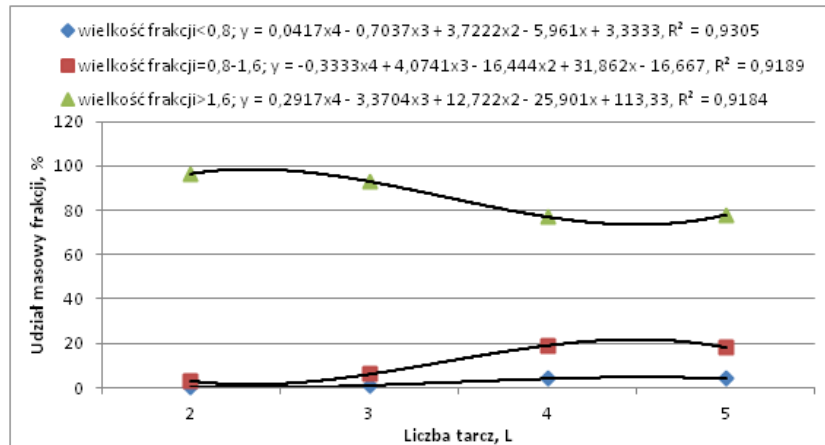


Rys. 7. Jednostkowe zużycie energii celowej ($E_{j(t/20\% < 1,6)}$) zależne od zmiennej liczby tarcz i sposobu dozowania ziaren kukurydzy i pszenżyta

Źródło: opracowanie własne

Celem wyznaczenia charakterystyk sterowania określono jednostkowe zużycie energii E_j na ruch roboczy sterowany i wynikowe rozdrabnianie w zależności od liczby zastosowanych tarcz, oraz od sposobu dozowania ziarna kukurydzy i pszenżyta (Rys. 7). Przebieg zmienności tego parametru opisują równania regresji o postaci wielomianu czwartego stopnia w kolejności zgodnej z ich interpretacjami graficznymi.

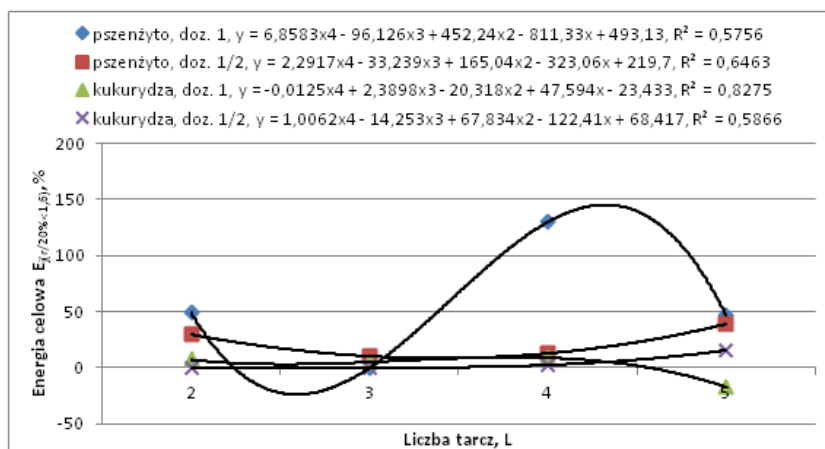
Wyniki analizy sitowej rozdrabnionych ziaren, podczas rozdrabniania z zadaniem dozowaniem wsadu i zmienną liczbą tarcz od 2 do 5, pokazano na rysunku 8. Przebieg zmienności tego parametru opisują równania regresji o postaci wielomianu czwartego stopnia w kolejności zgodnej z ich interpretacjami graficznymi. Analiza ta niezbędna jest do wyznaczenia charakterystyki regulacji analizowanych rozdrabniaczy.



Rys. 8. Przebiegi zmienności frakcji rozdrobnionego ziarna kukurydzy podczas dozowania całkowitego (1) dla zmiennej liczby tarcz (2÷7)

Źródło: opracowanie własne

Wyznaczając charakterystykę kompensacji analizowano, optymalizowano w kierunku minimalizacji moc czynną P, pobraną przez jednostki napędowe w zależności od wydajności poszczególnych frakcji wymiarowej jako funkcji prędkości kątowej podczas rozdrabniania przyjętych do badań ziarniaków biomasy. Przykładowe wyniki pokazano na rysunku 9. Zmienność parametru opisano również równaniami regresji o postaci wielomianu czwartego stopnia.



Rys. 9. Jednostkowe zużycie energii celowej ($E_{j(r/20\%<1,6)}$) zależne od zmiennej liczby tarcz i sposobu dozowania ziaren kukurydzy i pszenżyta

Źródło: opracowanie własne

Wyznaczając usystematyzowane charakterystyki: biegu jałowego, obciążenia, zewnętrzną, sterowania, regulacji i kompensacji, na podstawie specjalistycznych obliczeń i badań przedmiotowych rozdrabniaczy, można stwierdzić, że wypełnienie zespołu quasi-cięcinającego, a więc i wydajność, a nawet energochłonność procesu cięcia ziaren biomasy, zależą od wartości prędkości roboczych zarówno quasi-cięcia jak i dozowania. Te z kolei zależą od parametrów ruchowo-napędowych jednostkowych zespołów rozdrabniających oraz od sumy objętości materiału w sąsiednich otworach, stanowiących jednostkę rozdrabniającą.

Zapotrzebowanie mocy na ruch roboczy sterowany i wynikowe rozdrabnianie w zależności liczby zastosowanych tarcz, oraz od sposobu dozowania ziaren biomasy, analizowano celem wyznaczenia charakterystyk sterowania procesem wielootworowego rozdrabniania. Przebieg zmienności tego parametru obrazują interpretacje graficzne (Rys.4 i Rys.5). Analiza ta niezbędna jest do wyznaczenia charakterystyki regulacji analizowanych rozdrabniaczy. W celu wyznaczenia charakterystyki kompensacji analizowano, optymalizowano w kierunku minimalizacji moc czynną P , pobraną przez jednostki napędowe w zależności od prędkości kątowej podczas rozdrabniania ziaren pszenżyta, kukurydzy i ryżu. Przykładowe wyniki zestawiono w tabeli 1.

5. PODSUMOWANIE

Weryfikując otrzymywane w warunkach mechanicznych charakterystyki w różnych stadiach rozdrabniania i przemieszczenia, z punktu widzenia pracujących tarcz rozdrabniacza, można stwierdzić, że zależą one od obserwowanych, mierzonych, znanych i określonych odpowiednio objętości wypełnienia materiałem wsadowym otworów zarówno przed jak i za płaszczyznę cięcia, oraz pola powierzchni wspólnej otworów: poprzedzającego i następującego.

W podejściu praktycznym, związanym z budową i eksploatacją maszyn spożywczych, w tego typu rozdrabniaczach można stwierdzić, że przyjmując rozwiązanie konstrukcyjne (jako logiczną koniunkcję kryteriów z możliwymi cechami konstrukcyjnymi zespołu quasi-ściśnającego) w przestrzeni koncepcyjnej, będące rozwiązaniem optymalnym z punktu widzenia założonych kryteriów obejmujących: cel, minimum energii, autoregulację i piętrową konstrukcję; można zaproponować nowe prorozwojowe pole rozwiązań do dalszych analiz zintegrowanego systemu rozdrabniania z obszaru dopuszczalnego, zmienności cech konstrukcyjnych i parametrów przetwarzania.

Stanowisko badawcze, zaproponowana metodyka monitorowania, systematyzacji, obliczeń i badań charakterystyk rozdrabniania biomateriałów ziarnistych wypełnia oczekiwania w zakresie doskonalenia i rozwoju przetwórczych urządzeń technicznych.

Wyznaczone charakterystyki ruchowe wskazują potrzebę kompromisu między dwiema podstawowymi funkcjami: przemieszczaniem i rozdrabnianiem w roboczej przestrzeni międzyotworowej. Charakterystyki użytkowe ułatwią dobór optymalnych cech konstrukcyjnych i parametrów eksploatacyjnych. Jest to działanie użyteczne i pożądane - prowadzi w konsekwencji do otrzymania z ziaren biomasy pełnowartościowego żywieniowo/energetycznie produktu o zdefiniowanej postaci, strukturze i powtarzalnych wymiarach [4, 5].

Sposób sterowania i konstrukcja przeniesienia napędu do zespołu roboczego rozdrabniacza, szczególnie zaś w przypadku innowacyjnych rozwiązań wielootworowych, wielotarczowych, ma znaczący wpływ na wybrane właściwości i wielkości charakteryzujące proces, w tym na wypełnienie i wydajność produktu celowego.

Analiza aktualnego stanu badań i podstaw konstrukcyjnych rozdrabniaczy ziarniaków pszenżyta, kukurydzy oraz ryżu, jak również szczegółowe opisy matematyczne procesu rozdrabniania, w powiązaniu z budową zespołów dezintegrujących, znane z literatury i własne, potwierdzają możliwość opracowania i weryfikacji doświadczalnej modeli matematycznych przydatnych w optymalizacji, modernizacji i innowacji konstrukcji systemów rozdrabniania wielotarczowego. Modele i adekwatne zależności matematyczne, pozwalają na skuteczne i efektywne projektowanie oraz planowanie wykorzystania wielootworowych układów rozdrabniania.

THIS WORK WAS FINANCIALLY SUPPORTED BY THE POLISH NATIONAL CENTRE FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT IN 2010-2013

BIBLIOGRAFIA

1. Armstrong P.R., Lingenfelter J.E., McKinney L. The Effect of Moisture Content on Determining Corn Hardness from Grinding Time, Grinding Energy, and Near – Infrared Spectroscopy. *Applied Engineering in Agriculture*. 2007, 23(6): pp.793-799.
2. Bieliński, K. S. & Flizikowski, J. B. (2008). System aktywnego monitorowania obiektów technicznych. XXII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna EKOMILITARIS. (pp. 24-35). Warszawa, Poland: BEL Studio Sp. z o.o..
3. Flizikowski, J. B. (2011a). Research and development of polimer materials grinders In the Direktion of increasing energy efficiency of recycling processes. *Przetwórstwo tworzyw*, No 3(141)/17, (pp.128-131). Toruń, Poland
4. Flizikowski, J. B. (2011b). Intelligent grinding system. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* nr 3/2011, (pp.22-23). Warszawa, Poland: SIGMA-NOT Sp. z o.o..
5. Flizikowski, J. B. (2011c). Levels of inteligent grinding system. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* nr 3/2011, (pp.24-26). Warszawa, Poland: SIGMA-NOT Sp. z o.o..
6. Hoffman P. C., Ngonyamo-Majee D., Shaver R. D. Technical note: Determination of can hardness in diverse corn gin diverse corn germplasm using near – infrared reflectance baseline shift as a measure of grinding resistance. *Journal of Dairy Science*. 2010, Vol. 93, Issue 4, pp1685-1689.
7. Sharma B., Jones C. L., Khanchi A. Tensile Strength and Shear Strength of Switchgrass Before and After Frost. *Biological Engineering Transactions*. 2011, Vol.4(1), pp. 43-54.
8. Tomporowski, A. (2011). Structure development of biological material shredders. Part I and II (in polish). *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* nr 3/2011, (pp.75-78). Warszawa, Poland: SIGMA-NOT Sp. z o.o..
9. Tomporowski A. Stream of efficiency of rice grains multi-disc grinding. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2012; 14(2): 150-153
10. Tomporowski A., Opielak M. Structural features versus multi-hole grinding efficiency. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2012; 14(3): 223-228
11. Walton O. Effects of interparticle friction and particle shape on dynamic angles of repose via particle-dynamics simulation. *Proc. Conf. Mechanics and Statistical Physics of Particulate Materials*, 1994 June 8-10, La Jolla, CA, USA.

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. Józef FLIZIKOWSKI – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Dr inż. Adam MROZIŃSKI – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Dr inż. Andrzej TOMPOROWSKI – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy