

**FLIZIKOWSKI Józef, MROZIŃSKI Adam, TOMPOROWSKI Andrzej,
MACKO Marek, JANKOWSKI Marek**

KOGNITYWNE STEROWANIE ROZDRABNIANIEM

Streszczenie

Celem opracowania było wdrożenie sterowania kognitywnego procesem rozdrabniania wielootworowego, z wykorzystaniem oryginalnego stanowiska badawczego, wyposażonego w środowisko informatyczne LabVIEW. Zastosowano algorytmy genetyczne rozwoju stanów postulowanych przez ewolucyjną zmianę warunków technicznych: indywidualnego napędu pięciu tarcz roboczych i dozowania, zasilania wsadem.

WSTĘP

Główne cechy, które charakteryzują systemy sterowania poznawczego, są ustalone i obejmują funkcjonalność oraz celowość działania [Knosala R., 2002, Palmowski S., 2012]:

- wszystkie funkcje (pomiar, wnioskowanie, uczenie) zorientowane są na cel,
- cele i zachowania zmieniają się w sposób elastyczny w zależności od kontekstu sytuacyjnego i doświadczenia,
- może działać w nieznanym środowisku bez interwencji człowieka,
- jest w stanie współdziałać z ludźmi i innymi systemami poznawczymi, aby wspólnie rozwiązać złożone zadanie.

Aby osiągnąć właściwości współdziałania, twórczości i odpowiedzialności, system musi być w stanie [Burnewicz J., 2009, Kłós Z., 2011, Knosala R., 2002, Niederliński S., 1987, Palmowski S., 2012, Flizikowski J., Bieliński K., 2013]:

- "zrozumieć bieżącą sytuację" - w tym celu system kontroli poznawczej musi realizować kilka funkcji, takich jak (aktywne) wykrywanie, wydobywanie i pozyskiwanie istotnych informacji z doświadczeń i wiedzy wcześniej zdobytej; również musi on dbać o aktualizację tych informacji,
- „świadomie działać” na rzecz zmiany obecnej sytuacji i reagować na wszelkie nieprzewidziane zmiany w uzasadniony (niekoniecznie optymalny) sposób, działania obejmują podejmowanie decyzji, planowanie, rozumowanie, uczenie się i adaptację;
- „oceniać” wyniki pomiarów, analiz, poznania, twórczości i wszelkich następstw podejmowanych decyzji.

Celem opracowania było wdrożenie sterowania kognitywnego procesem rozdrabniania wielootworowego, z wykorzystaniem oryginalnego stanowiska badawczego, wyposażonego w środowisko informatyczne LabVIEW. Zastosowano algorytmy genetyczne rozwoju stanów postulowanych przez ewolucyjną zmianę warunków technicznych: indywidualnego napędu pięciu tarcz roboczych i dozowania, zasilania wsadem.

1. METODYKA

Metodyka kognitywnego sterowania rozdrabnianiem obejmuje dwie strategie: badawczo-poznawczą w procesie innowacji/użytkowania i ucząco-wykonawczą w użytkowaniu maszyn.

Metodyka badań poznawczych, wdrożeniowych rozdrabniacza IGS-5D-BPFm, rozpoczyna się od formułowania problemów technicznych, np. w postaci zdań pytających: Jakie warunki techniczne W_t (konstrukcji maszyn, urządzeń rozdrabniania, przetwórstwa, wytwarzania, ...) są niezbędne do zaistnienia postulowanego stanu SP (efektywności działania, jakości produktu).

Proces rozdrabniania możemy nazwać efektywnym, gdy wydajność techniczna i stopień rozdrobnienia rosną, a obciążenia i energia potrzebna do rozdrobnienia – maleją. Prowadzi to do wyznaczenia kryteriów optymalnego sterowania procesem, dla [Flizikowski J. i Zespół, 2013]:

1. efektywnej wydajności, $k_w=W_t$, W_t oznacza wydajność technologiczną,
2. efektywnej jakości produktu, efektywnego stopniu rozdrobnienia, $k_n=n$, n – stopień rozdrobnienia,
3. efektywnych obciążeń maksymalnych, $k_R=\frac{1}{R_{\max sr}}$, $R_{\max sr}$ - wartość średnia maksymalnych sił rozdrabniania,
4. efektywnej energii $k_E=\frac{1}{L_r}$, L_r – wartość energii (lub użytecznej pracy rozdrabniania).

Zintegrowany wskaźnik efektywności procesu (dla konkretnej koncepcji) przybiera postać:

$$k_i = k_w \cdot k_n \cdot k_R \cdot k_E$$

Jeżeli koncepcja, proces początkowy (i) jest bardziej efektywny niż proces następny (i+1), to $k_I > k_{II}$ i takie przesterowanie zmiennych rozdrabniania wskazuje odejście od optimum przetwarzania.

Założono dla potrzeb poznania, że wyróżnikiem konstrukcyjno-technologicznym koncepcji rozdrabniania są geometryczne, materiałowe i dynamiczne cechy materiału wsadowego, zespołu i w ogóle parametry ruchu w przestrzeni rozdrabniania, które również koncytuje się, dobiera na podstawie wyników badań i doświadczeń praktycznych. Na UTP w Bydgoszczy i w ZBPP zrealizowano liczne badania na przykładzie [Flizikowski J. i Zespół, 2013]: rozdrabniania wielootworowego (2-187 krawędzi otworów/ostrzy), wielotarcowego (1-7 tarcz), ich fenomenów działania na granulaty wsadowe (ziarna zbóż, tworzyw i tworzyw z włóknem) o zmiennych średnicach zewnętrznych, w zakresie zmiennej prędkości podawania, mieszania, rozdrabniania (0,8-14,66 m/s). Podwyższanie wydajności, stopnia rozdrobnienia i pracy użytecznej oraz zmniejszenie obciążeń na rozdrabnianie materiałów, można więc potraktować jak zdekomponowane zadanie optymalizacji wielokryterialnej, wymagające nadrzędnej inteligentnej jednostki decyzyjnej, która dla jakości produktu określa stany i przemiany w systemie.

Badania pro wdrożeniowe, w cyklu innowacyjnym (tab.1), sterowanie optymalizacyjno-efektywnościowe, według dwóch procedur: koncyptowania konstrukcji rozdrabniacza, kryteriów efektywnościowych, prowadzą do ujawnienia licznych koncepcji rozwiązań maszynowych (w pierwszym przypadku), różnorodnych udoskonaleń procesu rozdrabniania i całego systemu specjalnego (w drugim).

Tab. 1. Etapy i strategie pro wdrożeniowego cyklu badań innowacyjnych

Etapy postępowania badawczego	Strategia badań innowacyjnych Stosowana, celowa, maszynowa: konstrukcyjna, wytwórcza, eksploatacyjna, recyklingowa
Metateoria	Rozdrabnianie biomasy ziarnistej na krawędziach otworów znajdujących się w ruchu. Opis nowego zjawiska, nowej techniki wymagających nowych warunków technicznych (Wt): nowej konstrukcji, nowego wytwarzania, nowej eksploatacji, recyklingu maszyn, urządzeń, instalacji.
Postawienie problemu	Jakie są nowe warunki techniczne (Wt): konstrukcji W_k , praktycznego, produkcyjnego wytwarzania W_w , eksploatacji W_e , recyklingu W_{re} rozdrabniaczy z krawędziowymi narzędziami wielootworowymi w ruchu, maszyn, urządzeń, instalacji niezbędne do wystąpienia postulowanego stanu jakości produktu, efektywności, nieszkodliwości działania SP?
Przyjęcie hipotezy roboczej (odkrycie, olśnienie, koncyrowanie)	Postulowany stan SP może wystąpić w licznych warunkach nowej konstrukcji W_k , nowego (prostego, taniego) wytwarzania W_w , nowej eksploatacji W_e , nowego recyklingu W_{re} licznych koncepcji rozdrabniaczy z krawędziowymi narzędziami wielootworowymi w ruchu, jako maszyn, urządzeń, instalacji.
Badania pro wdrożeniowe, przemysłowe, prace rozwojowe	Budowa prototypów licznych koncepcji rozdrabniaczy z krawędziowymi narzędziami wielootworowymi w ruchu, konstrukcji w nowych lub starych warunkach wytwarzania, próby użytkowania, obsługiwanie, zasilania, napraw i recyklingu nowej maszyny, urządzenia, instalacji wraz z badaniami produkcyjnymi, w warunkach przemysłowych (B+R).
Weryfikacja hipotezy	Monitorowanie prototypu rozdrabniacza z krawędziowymi narzędziami wielootworowymi w ruchu, ocena konstrukcji, weryfikacja odkrycia, olśnienia, sprawdzenie na dostatecznej liczbie procesów rozdrabniania, czy w technicznych warunkach wdrożenia Wt występują SP.
Wyprowadzenie wniosku ogólnego	Zaistnienie warunków Wt: konstrukcji W_k , produkcyjnego wytwarzania W_w , eksploatacji W_e , recyklingu W_{re} rozdrabniacza z krawędziowymi narzędziami wielootworowymi w ruchu, jako maszyny, urządzenia, instalacji prowadzi do wystąpienia stanów wysokiej jakości produktu, efektywności, nieszkodliwości działania SP.

W strategii badawczo-poznawczej i ucząco-wykonawczej zastosowano te same sposoby pomiaru, określania, mierzenia, wyznaczania wskaźników zmiennych (Wt, SP) i stałych (C), z wykorzystaniem instrumentarium badawczego IGS-5D-BPFm:

- Wt: prędkości kątowe $\omega_{T1}, \omega_{T2}, \omega_{T3}, \omega_{T4}, \omega_{T5}$ mierzone są *on line* z odpowiednim, zadany interwałem czasowym, np. 10 μ s;
- Wt: ilość dozowanego wsadu q_d stanowisko określa w udziale procentowym zakresu dozowania, trzeba wprowadzić skalowania, funkcję rozkodowania ilości dozowanej biomasy ziarnistej w czasie, np. g \cdot s $^{-1}$ lub kg \cdot s $^{-1}$;
- SP: przepustowość, wydajność masową Q_m rozdrabniania wielotarczowego określana jest z zależności:

$$Q_m = \frac{dm}{dt}$$

gdzie:

dm – ilość masy zmierzona podczas obserwacji w interwale czasu na ekranie identyfikacji obrazu cząstek, wyznaczana jako suma objętości wszystkich cząstek, jako kul o objętości:

$$dm = \rho \sum_{1}^i V_{mi} = \rho \frac{4}{3} \pi \sum_{1}^i R_i^3$$

w gramach lub kilogramach, np. dla ryżu $\rho=650\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,

dt – czas interwału obserwacji, s;

- SP: uzysk, wydajność celową, np. o zadanym wymiarze średnim produktu, np. 0,80 mm, $Q_{0,80}$ biomasy energetycznej, paszowej lub spożywczej określana jest z zależności:

$$Q_m = \frac{dm_{0,80}}{dt}$$

gdzie:

$dm_{0,80}$ – ilość masy zmierzona podczas obserwacji w interwale czasu na ekranie identyfikacji obrazu cząstek, wyznaczana jako suma objętości cząstek o zadanym wymiarze, np. 0,80 mm, jako kul o objętości:

$$dm_{0,80} = \rho \sum_1^i V_{mi,0,80} = \rho \frac{4}{3} \pi \sum_1^i R_{i,0,80}^3$$

w gramach lub kilogramach, np. dla ryżu $\rho=650\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,

dt – czas interwału obserwacji, s;

- SP: całkowite zapotrzebowanie mocy dla wszystkich tarcz $P_c=\Sigma P_{Ti}$ rozdrabniających, jest mierzone i powinno być dostępne z zasobów każdego falownika;
- SP: jednostkowe zużycie energii elektrycznej przez napęd tarcz roboczych wyznaczone odpowiednio dla wydajności ogólnej $E_{jc}=P_c/Q_m$ i celowej $E_{jc,0,80}=P_c/Q_{m,0,80}$;
- SP: ogólny, średni stopień rozdrobnienia λ_o cząstek o wymiarze początkowym D_p do wymiaru końcowego, produktu rozdrabniania d_k : $\lambda_o=D_p/d_k$; wymiar początkowy D_p (w mm), po zmierzeniu licznych ziaren wsadowych i wyciągnięciu średniej jest wprowadzany z klawiatury, a wymiar końcowy d_k (w mm) po próbach identyfikacji obrazu wprowadzony jest z identyfikacji, pomiarów średnich produktu;
- C: wilgotność ϕ ziaren biomasy w %, temperatura T_{mw} w K wsadowej masy ziaren - wprowadzana z klawiatur;
- C: cechy konstrukcyjne wybranego elementu roboczego rozdrabniacza C_k wprowadzane są każdorazowo z klawiatury, zależnie od realizowanych zmian postaci, wymiaru lub tolerancji elementu konstrukcyjnego;

Kiedy rozdrabnianie jest najlepsze? Oznacza to nastawienie algorytmów genetycznych na poszukiwanie optymalnych prędkości $\omega_{T1}, \omega_{T2}, \omega_{T3}, \omega_{T4}, \omega_{T5}$, ilość dozowanego wsadu q_d według funkcję przystosowania opisanej logicznie jako:

- SP: stały stopień rozdrobnienia $\lambda_o=D_p/d_k$, a dokładniej:
 $d_k = D_p / \lambda_o$
- SP: stała temperatura T_{mw} i wilgotność przetwarzania ϕ ;
- SP: maksimum wydajności Q_m lub/i $Q_{0,80}$;
- SP: minimum zapotrzebowania mocy P_{ci} lub ΣP_{Ti} ;
- SP: minimum jednostkowego zużycia energii E_{jc} lub $E_{jc,0,80}$.

Dla celów energetycznych, paszowych i częściowo spożywczych, istnieje możliwość wykorzystania efektywnościowej funkcji przystosowania ($e_{RP}=f(Wt;C)$):

$$e_{RP} = \frac{(\eta_{q-s} - \eta_o) \cdot E_{brutto} \cdot \eta_s \cdot \eta_p}{(k_j \cdot v_r + \tau_{q-s} \cdot F_{q-s} + \varepsilon \cdot F_R' \cdot v_r^2) \cdot M_k \cdot v_r \cdot t}$$

gdzie:

- η_{q-s} - sprawność rozdrabniania na wymiar do dalszego przetwórstwa, -,
- η_o - sprawność przetwarzania pozawymiarowego produktu quasi-ścianego, -,
- E_{brutto} - energia zawarta w przetwarzanym materiale, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,
- η_s, η_p - sprawność układu napędowego rozdrabniacza (silnika i przekładni), -,
- k_j - współczynnik oporów ruchu jałowego, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$,
- v_r - prędkość quasi-ściania, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- τ_{q-s} - naprężenia quasi-ścinające, $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$,

- $F_{q-\dot{s}}$ - chwilowy przekrój quasi-ścianania, m^2 ,
 F_R' - przekrój oddziaływań wtórnych quasi-ścianania, m^2 ,
 ε - współczynnik proporcjonalności, $N \cdot s^2 \cdot m^{-4}$,
 M_k - wskaźnik krotności próby masowej, -.

Estymatory technologiczno-konstrukcyjne: Do estymacji koncepcji wykorzystywana jest analiza ekstremów funkcji (charakterystyk użytkowych) procesu rozdrabniania:

- e_R - funkcja efektywności energetycznej, -,
 Q_m - wydajność masowa procesu, $kg \cdot h^{-1}$,
 P_c - zapotrzebowanie mocy, kW,
 E_{jc} - jednostkowe zużycie energii, $J \cdot g^{-1}$,
 λ - stopień rozdrobnienia (wymiary produktu), -,
 M - momenty obrotowe, $N \cdot m$,
 ω, n, v - prędkości kątowe, obrotowe, liniowe, $rad \cdot s^{-1}$, s^{-1} , $m \cdot s^{-1}$,
 η - sprawność, -.

W poznaniu, uczeniu, koncyptowaniu, wdrażaniu nowych rozdrabniaczy biomateriałów ziarnistych, konkretnej konfiguracji cech konstrukcyjnych zespołu roboczego, istotną rolę odgrywają: instrumentarium badawcze (hardware i software), symulatory zjawisk oraz celów rozdrabniania (tab.2).

Tab. 2. Instrumentarium badawcze kognitywnego sterowania energooszczędnym rozdrabniaczem

Układ pomiarowo sterujący napędem młyna wielotarczowego składający się z:				
1	szt	LABVIEW ACADEMIC PREMIUM SUITE 779447-35 – licencja bezterminowa	M76X87849	
1	szt	UI-1240SE-C-HQ uEye Re, kamera kolorowa CMOS + H1214-M (KP) PENTAX obiektyw	4002905793	
1	szt	VIBDAQ 2+ - dwukanałowy moduł akwizycji sygnału drganiowego + 2 czujniki drgań		
1	szt	U6 LAB JACK - wielofunkcyjny moduł DAQ z oczujnikowaniem	360007988	
1	kpl	Zestaw obliczeniowo-wizualizacyjny DELL GPSTF5J komputer, DELL ST2220T monitor	36388573687	
1	kpl	Komora pomiarowa z systemem oświetleniowym	-	
1	kpl	Oprogramowanie pomiarowo sterujące młynem wielotarczowym MŁYN 2012 – licencja bezterminowa	-	

Inteligentny system granulowania (IGS-5D-BPFm): pokazano na rys.1. Środowisko: LabView2012:

- współpracuje z układem sterowania laboratoryjnego młyna wielotarczowego oraz oprogramowaniem nadzorującym MŁYN 2013
- do wyszukiwania nastaw układu sterującego młyna w celu uzyskania założonych, jak najlepszych, kryteriów rozdrabniania i minimalizacji zużycia energii.



Rys.1. Stanowisko badań IGS-5D-BPFm rozdrabniacza wielotarczowego, wielokrawędziowego RWT-5KZ, widok ogólny [badania własne]

2. WYNIKI I DYSKUSJA

W kognitywnym sterowaniu zmiennymi innowacyjnego rozdrabniacza, wykorzystano propozycję architektury aktywnego poznawczo auto-monitorowania, jego kluczowe elementy i relacje:

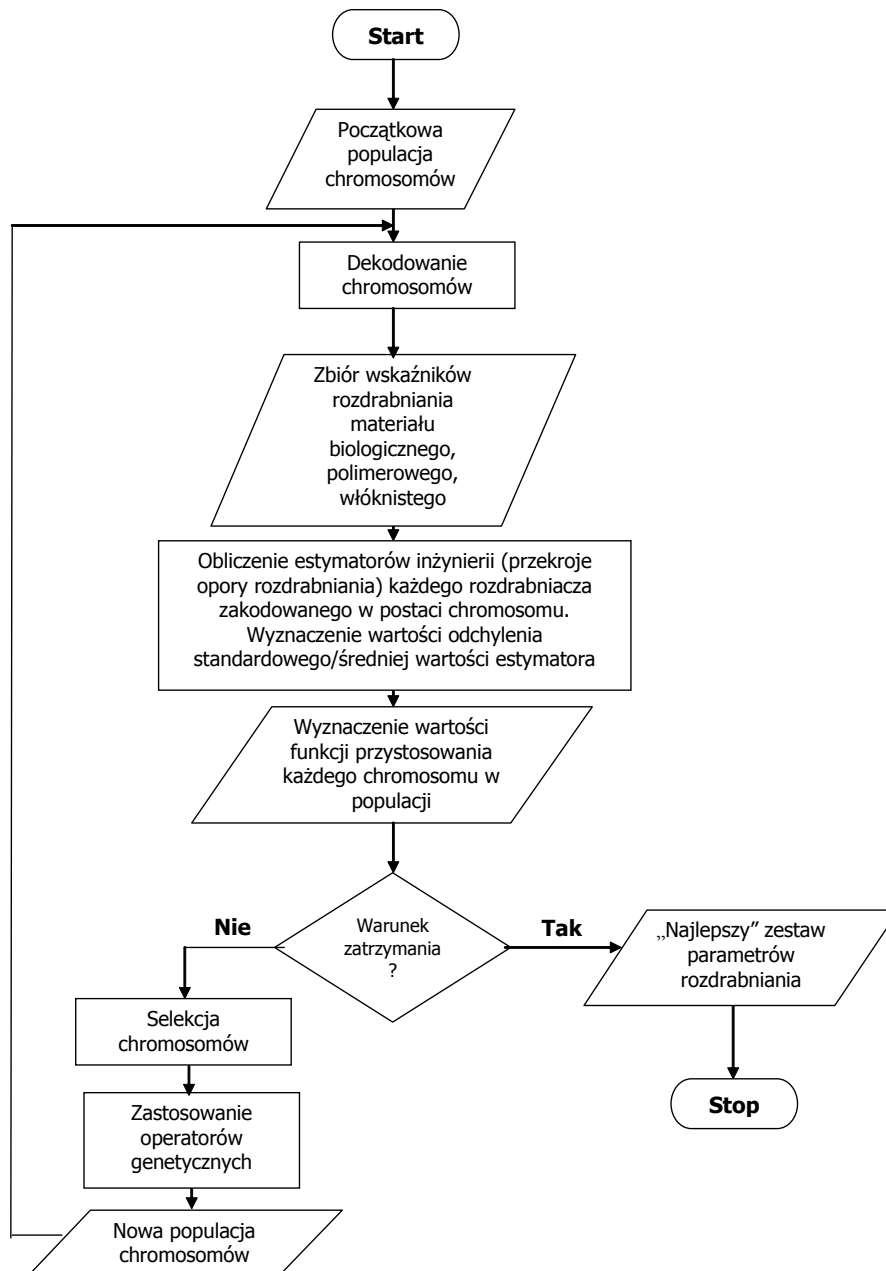
- Moduł zbierania danych z czujników oraz ich przetwarzania (Percepcja). Dane z pomiarów wskaźników zmiennych, stanowią informacje dla modułu uczącego i pozwalają modułowi sterowania na podejmowanie decyzji, które następnie wysyłane są do obiektu na bieżąco (rys.2).
- Moduł ciągłej aktualizacji wiedzy o systemie technicznym, środowisku i adaptacji do warunków aktualnych (Uczenie się). Wyzwaniem jest wyszukiwanie relacji czasowych i dynamicznych zależności, które w każdym rzeczywistym systemie występują i w sposób istotny wpływają na jego zachowanie (rys.2).
- Moduł właściwości poznawczych systemów sterowania (Wiedza). Jest to pojętność systemu, w której zapisana jest wiedza o obiekcie. Wiedza podlega ciągłemu procesowi aktualizacji i adaptacji. Wyzwaniem dla projektantów jest określenie reprezentacji informacji oraz dobór struktury, w której przechowywany jest zasób wiedzy (rys.2)
- Moduł decyzyjny wyznacza akcje, które są właściwe dla celów obiektu (Podejmowanie decyzji). Moduł ten w oparciu o aktualne pomiary zebrane z sensorów oraz doświadczenia (zapisane w module wiedzy) wyznacza decyzje. Przesyłane są one do modułu wykonawczego i uczącego się. Moduł wykonawczy przesyła decyzje do obiektu, natomiast uczący uwzględnia decyzje w procesie uczenia do późniejszej oceny skutków decyzji. Głównym wyzwaniem dla projektantów systemu będzie utworzenie algorytmów, które mogą podejmować poprawne decyzje w sytuacji niepełnej informacji (rys.2).
- Wykonanie. Zadaniem modułu wykonawczego jest przekazanie sygnału sterującego (wyznaczonego przez moduł decyzyjny) do obiektu.

Moduł zbieranie i przetwarzanie danych:

Dane wejściowe:

- moduł sprawdza uruchomienie programu sterująco-pomiarowego AI-AG-MŁYN-2013, obecność produktu do rozdrobnienia w zasobniku, uruchomienie napędu młyna, uruchomienie układu pomiarowego;

- odczytuje okresowo wartości wydajności masowych w poszczególnych przedziałach średnic rozdrobnionego produktu (frakcjach) oraz wartości pobieranej przez napęd mocy za pośrednictwem programu MŁYN 2013



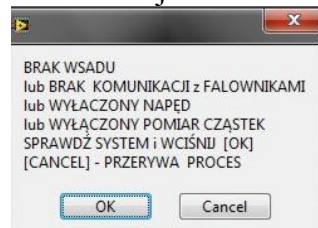
Rys.2. Sterowanie procesem rozdrabniania w oparciu o algorytm genetyczny AI-GA-MŁYN-2013 [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Dane wyjściowe:

- informacja o uruchomieniu cyklu obliczeń AG
 - zestaw parametrów sterowania przekazywany do MŁYN 2013
 - informacja o zakończeniu cyklu AG
 - zestaw wszystkich parametrów sterowania, wyników pomiarów w pliku o formacie xls
- Zalecenia bezpieczeństwa (rys.3):

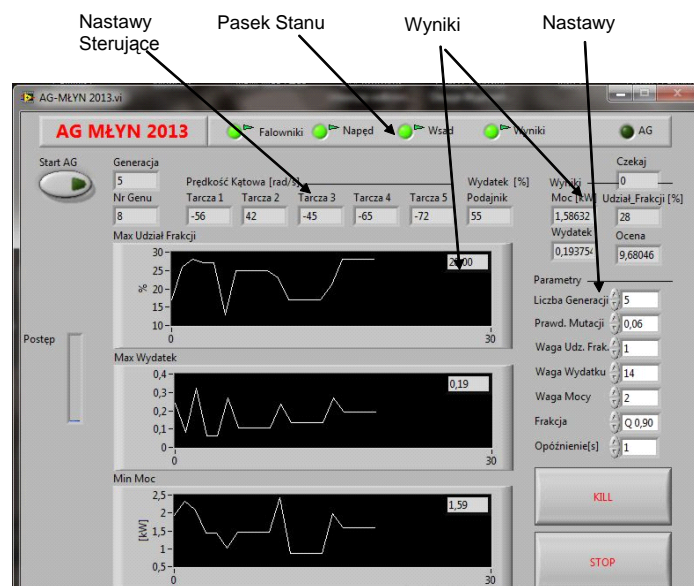
W przypadku utraty sterowania lub nienormalnego zachowania się urządzeń natychmiastowe zatrzymanie napędu młyna uzyskuje się przez:

- wciśnięcie przycisku bezpieczeństwa na szafie przetwornic częstotliwości lub wyłączenie zasilania przetwornic częstotliwości
- lub wyłączenie zasilania szafy sterowniczej



Rys.3. Zabezpieczenia przed brakiem wsadu [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

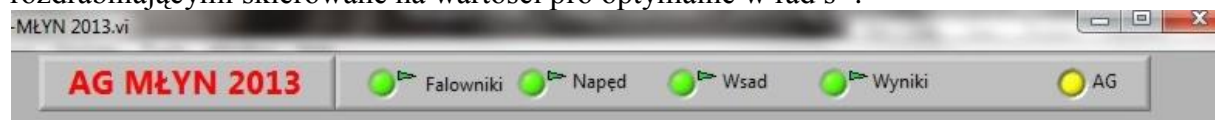
Panel czołowy modułu obejmuje (rys.4):



Rys.4. Panel czołowy, zawierający: nastawy sterowania, pasek stanu, wyniki, nastawy algorytmu genetycznego [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Moduł decyzyjny, wykonanie:

Obejmują prędkości kątowe poszczególnych tarcz z otworami przepustowo-rozdrabniającymi skierowane na wartości pro optymalne w $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.



Rys.5. Pasek stanu, zawierający nastawy: falowników, napędu, zasilania dozownikiem (wsadu), wyniki, aktywność algorytmów genetycznych (AG) [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Pasek stanu zawiera wskaźniki w postaci diod LED (rys.5):

- Falowniki – stan aktywny zielony oznacza, że została nawiązana prawidłowa komunikacja pomiędzy programem Młyn 2013 a zestawem przemienników częstotliwości
- Napęd – stan aktywny zielony oznacza, że przemienniki częstotliwości zostały przestawione w tryb zdalnego sterowania przez program Młyn 2013
- Wsad – stan aktywny oznacza, że w zasobniku młyna znajduje się materiał do rozdrobnienia
- Wyniki – stan aktywny zielony oznacza, że młyn pracuje i wykonywane są pomiary rozdrobnienia
- AG – pulsujący żółty sygnał oznacza, że przeprowadzany jest eksperyment

Do uruchomienia eksperymentu potrzebny jest aktywny stan wszystkich wskaźników zielonych, przejście któregośkolwiek ze wskaźników w stan nieaktywny przerywa tok eksperymentu i wyświetla komunikat.

Moduł aktualizacji wiedzy i poznania:

Gromadzenie, analiza danych, prezentacja charakterystyk graficznych procesu (rys.6 i rys.7): udziału maksymalnej frakcji w produkcji, maksymalnej wydajności (wydatku), i minimalnego zapotrzebowania mocy na rozdrabnianie.

Generacja	Prędkość Kątowa [rad/s]					Wydatek [%]	Czekaj	
1	_____					_____	1	
Nr Genu	Tarcza 1	Tarcza 2	Tarcza 3	Tarcza 4	Tarcza 5	Podajnik	Wyniki	_____
1	62	-27	94	-94	-64	65	Moc [kW]	Wydajność [%]
							2.50704	14

Rys.6. Zadawane prędkości rozdrabniania dla poszczególnych tarcz przepustowo-rozdrabniających [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Zgodnie z zadaną liczbą generacji program wykonuje cykle podawania parametrów dla układu napędowego i odczytów istotnych parametrów procesu rozdrabniania.

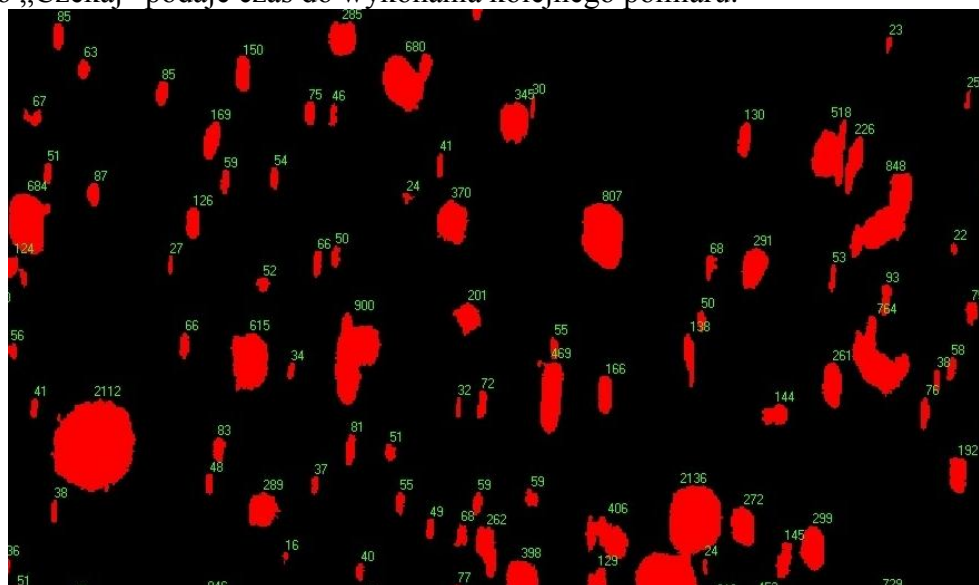
Zadawane parametry (rys.6):

- prędkości kątowe tarczy nr 1,2,3,4 i 5; ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)
- wydatek podajnika; (%)

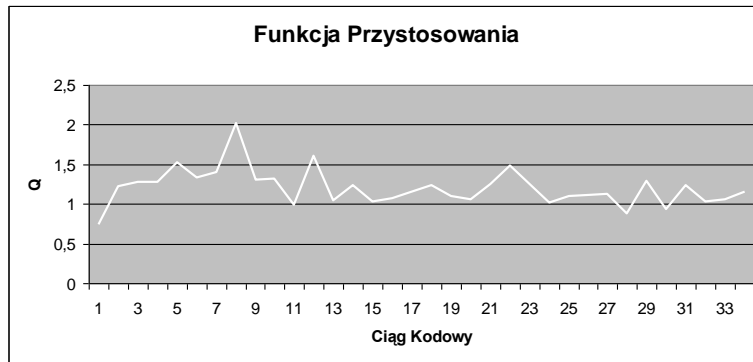
Po ustaleniu się procesu mierzone są (rys.7):

- moc sumaryczna wszystkich napędów rozdrabniacza; (kW)
- udział frakcji - wydajność masowa wybranej frakcji; (w % wydajności masowej ogólnej)
- wydatek - wydajność ogólna rozdrabniacza; jednostka umowna (pochodna obrazów zidentyfikowanej powierzchni produktu, rys.7)

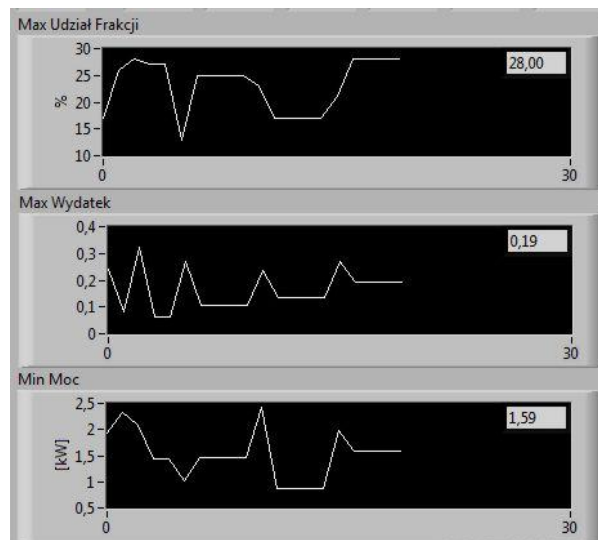
Okno „Czekaj” podaje czas do wykonania kolejnego pomiaru.



Rys.7. Widok ekranu: przetworzony obraz z kamery z pulpitu rozpoznawania cząstek z wyznaczonym i opisanym polem powierzchni poszczególnych ziaren produktu w Pielach [Flizikowski J. i Zespół, 2013]



Rys.8. Przykład wyników badań wydajności, mocy i funkcji przystosowania AG na stanowisku IGS-5D-BPFm [Flizikowski J. i Zespół, 2013]



Rys.9. Wyniki pomiarów: udziału maksymalnej frakcji w produkcie, maksymalnej wydajności (wydatku), i minimalnego zapotrzebowania mocy na rozdrabnianie [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Po zakończeniu serii testów dla każdej generacji następuje porównanie wyników wg kryterium maksymalizacji funkcji celu (przystosowania, rys.8 i rys.9) . Najlepsze wyniki tworzą kolejne punkty wykresów.

Nastawy algorytmu genetycznego pokazano na rys.8.

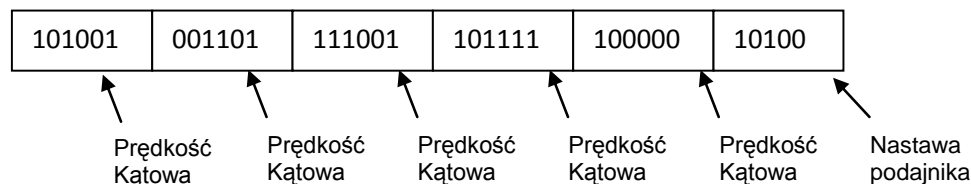
Parametry	
Liczba Generacji	5
Prawd. Mutacji	0,06
Waga Udz. Frak.	1
Waga Wydatku	1
Waga Mocy	3
Frakcja	Q 0,90
Opóźnienie[s]	5

Rys.10. Parametry programu genetycznego sterowania i wspomagania koncipowania pro optymalnego inżynierii rozdrabniania [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Przed wykonaniem eksperymentu operator ustala następujące parametry (rys.10):

- Liczba Generacji – liczba analizowanych iteracji programu. Każda generacja zawiera 6 ciągów kodowych, które zostają ocenione w czasie eksperymentu. Generacja nr 1 zawiera 10 ciągów kodowych – wartość domyślna – 5
- Prawdopodobieństwo Mutacji – określa częstość modyfikowania ciągów kodowych, zakres 0..1 – wartość domyślna 0,06
- Waga Mocy – określa współczynnik wpływu pobieranej przez układ mocy na wartość funkcji celu,
- Waga Udziału Frakcyjnego – określa współczynnik wpływu udziału wybranej frakcji produktu na wartość funkcji celu,
- Waga Wydatku – określa współczynnik wpływu wydajności masowej na wartość funkcji celu,
- Frakcja – wybór analizowanego zakresu średnic cząstek produktu – wartość domyślna 0,90
- Opóźnienie – czas wymagany do ustalenia parametrów procesu po zmianie nastaw sterujących – domyślnie 30 s

Program AG Młyn wykorzystuje algorytm genetyczny do prowadzenia eksperymentu czynnego, którego celem jest wyszukanie optymalnych nastaw sterujących. Każdy wektor nastaw sterujących tworzy ciąg kodowy, który w nomenklaturze algorytmów genetycznych określany jest jako **gen**. Zaprojektowano następujące ciągi kodowe (rys.11).



Rys.11. Ciągi kodowe wspomaganie mechanicznej inżynierii innowacji rozdrabniania [Flizikowski J. i Zespół, 2013]

Każdy ciąg kodowy (gen) składa się z 35 bitów. Prędkość kątowa jest kodowana za pomocą 6 bitów co pozwala na zapis prędkości od -100 do $100 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ z pominięciem obszaru gdzie częstotliwość prądu silników napędowych jest mniejsza niż 10 Hz. Zakres prędkości dzielony jest na 64 przedziały i zaokrąglany do wartości całkowitej co oznacza, że stopniowanie odbywa się co $3 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ (ok. $30 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$). Nastawa podajnika, dozownika wsadu - kodowana jest na 5 bitach, zakres od (50-100)% podzielony został na 32 przedziały. Takie kodowanie pozwala na wygenerowanie ponad 34 mln różnych kombinacji nastaw pracy rozdrabniacza.

Generację nr 1 tworzy 10 ciągów kodowych, których poszczególne bity zostały wygenerowane losowo. Dla poszczególnych napędów zostają zdekodowane wartości prędkości kątowych i wyświetlone (rys.11). Jednocześnie te same wartości zostają wysłane do programu Młyn 2013 i dalej do napędów młyna wielotarczowego. Po upływie czasu „Opóźnienie” następuje odczyt wyników i obliczenie wartości funkcji celu:

$$C_{i,l} = \frac{k_Q \cdot Q_{i,l}(x) + k_m m_{i,l}}{k_n N_{i,l}}$$

gdzie: i – nr kolejny ciągu kodowego, l – nr generacji, $Q(x)$ – udział masowy frakcji x (%), k_Q – współczynnik wagi udziału masowego, m - wydatek masowy rozdrabniacza (j.u.) (jednostka umowna wynikająca z działania komory pomiarowej), N – suma mocy pobierana przez układ napędowy (kW), k_n – wsp. wagi poboru mocy

Funkcja celu C zwiększa swą wartość, gdy wybrana do oceny frakcja posiada większy udział procentowy w produkcji rozdrobnionym oraz ilość produktu w danej frakcji przechodzącego przez komorę pomiarowa jest większa. Funkcja celu C zmniejsza swą wartość gdy wzrasta pobór mocy przez układ. Do ustalenia siły wpływu poszczególnych kryteriów optymalizacyjnych służą współczynniki wagi wprowadzane przed rozpoczęciem eksperymentu (rys.10)

Uzyskany w wyniku operacji genetycznych nowy zestaw ciągów kodowych tworzy następną generację, która również zostaje przetestowana, oceniona i uszeregowana wg wartości funkcji celu. Wartości optymalizowanych parametrów zostają dodane do wykresów (rys.7). Liczbę generacji określa operator systemu przez wpisanie wartości (domyślnie 5, rys.10)

Każdorazowe uruchomienie eksperymentu generuje raport w postaci pliku w formacie xls. Pliki są umieszczane w katalogu *Moje dokumenty\Młyn\AG/*. Nazwy plików zawierają datę, godzinę i minutę rozpoczęcia eksperymentu.

Plik raportu zawiera (rys.12):

- zdekodowane nastawy prędkości tarcz i podajnika
- uzyskane wyniki: pobór mocy, wydatki masowe kontrolowanej frakcji, wartość funkcji celu

Zastosowany algorytm genetyczny, w konfiguracji domyślnej, testuje 34 kombinacje nastaw układu napędowego. Ilość kombinacji została dostosowana do wielkości zasobnika materiału do rozdrabniania i szybkości procesu tak aby jeden wsad zapewnił przeprowadzenie całego eksperymentu. Algorytm genetyczny wybiera 34 ciągi nastaw spośród ponad 34 milionów możliwych kombinacji. Znaleziony zestaw nastaw powinien odpowiadać wartości maksymalnej funkcji celu z błędem nie przekraczającym 10% zakresu zmienności funkcji celu.

Przykładowe ilustracje elementów, relacji, wyników i układów pomiarowo-badawczych inteligentnego systemu granulowania (**IGS-5D-BPFm**), pokazano na rysunku 12.

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
1	Q 2,10	Q 2,25	Q 2,40	Q 2,55	Q 2,70	Q 2,85	Q 3,00	Moc1[kW]	Moc2[kW]	Moc3[kW]	Moc4[kW]	Moc5[kW]	Wydajnos	Moc[kW]	Ocena
2	16	11	3	27	11	10	16	0.678	0.689	0.374	0.157	0.236	3	2.251	0.444
3	28	5	19	25	1	30	5	0.126	0.317	0.863	0.568	0.952	4	2.207	0.604
4	29	23	7	30	24	7	0	0.598	0.341	0.22	0.51	0.343	13	2.597	1.669
5	4	4	7	22	2	22	23	0.855	0.173	0.015	0.779	0.011	19	2.653	2.387
6	2	12	2	19	24	0	29	0.225	0.029	0.076	0.791	0.214	28	2.886	3.235
7	14	13	18	23	28	4	12	0.307	0.106	0.103	0.829	0.682	13	2.703	1.603
8	14	18	28	28	7	13	22	0.808	0.128	0.323	0.151	0.67	23	2.144	3.575
9	17	30	5	9	20	2	26	0.464	0.007	0.984	0.48	0.652	23	2.706	2.833
10	24	8	8	29	15	26	12	0.883	0.642	0.122	0.443	0.973	5	1.465	1.137
11	14	3	5	25	7	3	10	0.473	0.237	0.767	0.366	0.319	27	2.966	3.034
12	27	28	29	16	28	4	21	0.027	0.762	0.321	0.851	0.034	4	2.08	0.641
13	7	10	3	24	2	20	28	0.884	0.626	0.272	0.61	0.338	3	1.901	0.526
14	1	13	27	17	3	21	16	0.042	0.755	0.709	0.083	0.859	22	2.335	3.141
15	19	2	21	17	8	9	5	0.105	0.751	0.324	0.865	0.638	13	3.639	1.191
16	30	25	11	29	23	1	2	0.912	0.381	0.815	0.551	0.779	6	2.559	0.782
17	17	28	27	2	3	16	25	0.608	0.343	0.364	0.224	0.796	19	2.139	2.96
18	21	8	29	9	24	28	23	0.134	0.608	0.191	0.051	0.193	3	2.534	0.395
19	13	25	3	0	5	20	7	0.699	0.366	0.423	0.653	0.266	22	2.684	2.733
20	3	19	13	21	13	29	19	0.732	0.459	0.731	0.252	0.738	10	3.417	0.975
21	19	11	20	9	7	15	8	0.546	0.49	0.336	0.132	0.777	4	3.403	0.392
22	20	1	25	13	17	11	6	0.033	0.299	0.395	0.348	0.123	21	2.934	2.386
23	17	6	10	13	20	23	28	0.181	0.597	0.916	0.815	0.247	12	3.471	1.152
24	7	8	1	27	3	2	4	0.218	0.742	0.056	0.275	0.72	29	3.089	3.129
25	10	1	21	15	15	12	28	0.772	0.293	0.088	0.184	0.992	23	2.477	3.095

Rys.12. Przykład raportu koncyptowania prooptymalnego rozdrabniania [Flizikowski J. i Zespól, 2013]

PODSUMOWANIE

Wieloletnie doświadczenia badawcze skłoniły autorów do doboru statystycznego modelu regresyjnego o możliwie najogólniejszej postaci. Złożoność obliczeniową i konieczność powtarzania i ręcznego sterowania, przeszukiwaniem najlepszego modelu zastąpiono kognitywnym sterowaniem, automatyką właściwą dla programowania genetycznego jako naturalnego narzędzia dla tego typu poszukiwań. Otrzymany model umożliwia nadażne, zgodne z poznaniami charakterystyk użytkowych, stanów postulowanych (SP) i wiarygodne dobieranie parametrów technologicznych i konstrukcyjnych, warunków technicznych (Wt), stałych systemu technicznego (C) młyna dla procesu mielenia wg opracowanych kryteriów.

W ślad za schematem podanym na rys.2, wynikami badań własnych, osiągniętymi wynikami sterowania kognitywnego oraz na podstawie doświadczeń zebranych przy opracowywaniu i studiowaniu prac, planowane jest wykonanie specjalistycznego oprogramowania możliwego do uruchomienia, za pośrednictwem przeglądarki internetowej wraz w bazą danych/wiedzy.

BIBLIOGRAFIA

1. Burnewicz, J. (2009). *Innovative perspective of transport and logistics*. Gdańsk, Poland: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
2. Flizikowski, J. B. (2011). *Intelligent grinding system*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 3/2011, (pp.22-23). Warszawa, Poland: SIGMA-NOT Sp. z o.o..
3. Flizikowski J. i Zespół, (2013). *Badania i rozwój rozdrabniania materiałów biologicznych, polimerowych i włóknistych w kierunku zmniejszenia energochłonności procesów recyklingu*. Grant Rozwojowy PR 0956/R/T02/2010/10, Bydgoszcz/Warszawa
4. Flizikowski J., Bieliński K., (2013): *Technology and Energy Sources Monitoring: Control, Efficiency, and Optimization*. IGI GLOBAL USA; ISBN13: 9781466626645, ISBN10: 146662664X, EISBN13: 9781466626959
5. Kłós, Z. (2011). *Pro-innovative and pro-quality approach in product development*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 3/2011, (pp.37-38). Warszawa, Poland: SIGMA-NOT Sp. z o.o..
6. Knosala R., (2002). *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*. Warszawa, Poland: WNT
7. Niederliński, S. (1987). *System i sterowanie*. Warszawa, Poland: PWN.
8. Macko, M., Boniecka, M. & Drop, A. (2011). *Life cycle assessment of grinders Rusing SoliWorks Sustainability application (in polish)*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 3/2011, (pp.49-50). Warszawa, Poland: SIGMA-NOT Sp. z o.o..
9. Palmowski S. (2012): *Sterowanie poznawcze*. Automatyka B2B.
10. Paska, J. (2010). *Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła*. Warszawa, Poland: OW Politechniki Warszawskiej.
11. Popczyk, J. (2010). *W przededniu cywilizacyjnej przebudowy Rynku energii elektrycznej*. Rynek Energii nr I (V). Zeszyt tematyczny. Lublin, Poland: Wydawnictwo KAPRINT.
12. 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..

COGNITIVE CONTROL OF GRINDING

Abstract

The objective was the cognitive control implementation in multi discs grinding process, using the original test bench equipped with LabVIEW computing environment. Genetic algorithms applied to the development of the postulated by evolutionary change technical specifications: an individual five working discs and dosage drivers.

Autorzy:

FLIZIKOWSKI Józef, MROZIŃSKI Adam, TOMPOROWSKI Andrzej - Wydział Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy
MACKO Marek - Wydział Matematyki Fizyki i Techniki UKW w Bydgoszczy
JANKOWSKI Marek - ADP Bydgoszcz