

Zbigniew Oszczak
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych
Akademia Rolnicza w Lublinie

OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW PRACY PNEUMATYCZNEGO SEPARATORA KASKADOWEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę doboru funkcji matematycznej umożliwiającej ocenę jakości procesu czyszczenia próbek ziarna lub nasion kierowanych do dalszego przerobu. Metoda umożliwia dobór optymalnych wartości masowych natężeń przepływu powietrza oraz ziarna. Metodę i procedury wykonawcze zilustrowano przykładem przygotowania i czyszczenia próbek 500g ziarna pszenicy w laboratoryjnym kaskadowym separatorze pneumatycznym.

Słowa kluczowe: oczyszczanie pneumatyczne, separator kaskadowy

Wykaz oznaczeń

- K_{All} – procentowy udział masowy złotu z kaskady [%]
- K_{Od} – procentowy udział masowy odpadów w zlocie z kaskady [%]
- C_{All} – procentowy udział masowy złotu z cyklonu [%]
- C_{Cel} – procentowy udział masowy ziarna celnego w zlocie z cyklonu [%]
- a_0 – procentowy udział masowy materiału podstawowego w materiale wyjściowym [%]
- b_0 – procentowy udział masowy zanieczyszczeń w materiale wyjściowym [%]
- a_1 – procentowy udział masowy ziarna celnego w produkcie oczyszczonym [%]
- b_1 – procentowy udział masowy zanieczyszczeń w produkcie [%]
- a_2 – procentowy udział masowy ziarna celnego w odpadzie [%]
- b_2 – procentowy udział masowy zanieczyszczeń w odpadzie [%]
- m_z – masowe natężenie przepływu ziarna na wlocie [$g \cdot s^{-1}$]
- m_p – masowe natężenie przepływu powietrza [$g \cdot s^{-1}$]
- ε – współczynnik jakości czyszczenia
- ε_M – funkcja jakości czyszczenia
- $\Delta\varepsilon$ – błąd estymacji funkcji jakości [%]
- ε_{Mo} – wartość maksymalna
- $m_{z0}; m_{p0}$ – wartości optymalne [$g \cdot s^{-1}$]

Wstęp

Rosnące standardy dotyczące czystości ziarna wymuszają coraz większe wymagania dla maszyn zbierających oraz czyszczących. Zanieczyszczenia w masie ziarna przy zbiorach kombajnami dochodzą do 25% [Pszczola 1998]. Większość stanowi zanieczyszczenia lekkie możliwe do usunięcia przy zastosowaniu separatorów pneumatycznych. Przydatność ziarna do dalszego przerobu wymaga znacznego zmniejszenia ilości zanieczyszczeń do zakresu 2 – 10%. [Jurga 1997]. Dobór optymalnych wartości zmiennych decyzyjnych, dotyczących głównie parametrów regulacyjnych maszyn oraz cech rozdzielczych dostarczanego surowca, ma decydujący wpływ na poziom jakości procesu czyszczenia.

Niska jakość procesu czyszczenia skutkuje wzrostem zanieczyszczeń w produkcji oraz wzrostem ilości ziarna celnego w odpadach.

Cel pracy

Celem pracy było opracowanie metody doboru optymalnych wartości natężeń przepływu ziarna oraz powietrza dla procesu czyszczenia w laboratoryjnym pneumatycznym separatorze kaskadowym (rys.1)

Przygotowanie próbek do badań

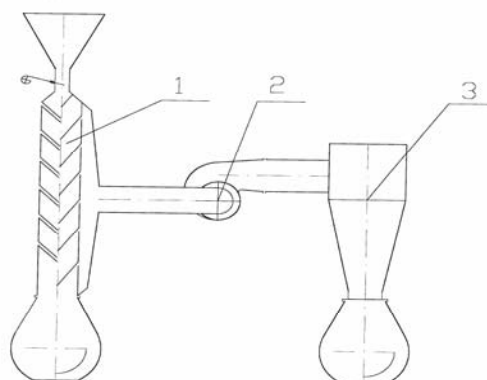
Do badań zastosowano ziarno pszenicy po zbiorze kombajnem. Przygotowano próbki o masie 500g. Masowe udziały frakcji po oczyszczeniu zostały zważone na wadze typu WPE 2000 o dokładności pomiaru 0,1g.

Przebieg badań

Pneumatyczny separator laboratoryjny (rys. 1) składa się z kosza zasypowego z zasuwą do regulacji natężenia przepływu ziarna, separatora kaskadowego, wentylatora napędzanego silnikiem elektrycznym o mocy 0,2kW przy 1524 obr·min⁻¹ oraz cyklonu z zasuwą do regulacji natężenia przepływu powietrza.

Separator dzielił ziarno na dwie frakcje: produkt oczyszczony i odpady. Zawartość ziarna celnego wyznaczano przesiewając frakcję przez sito o oczkach 2 mm.

Pomiar ciśnienia dynamicznego przeprowadzono przy zastosowaniu mikromanometru typu MPR-4. Do pomiaru masy zastosowano wagę typu WPE 2000 o dokładności pomiaru 0,1g.



Rys. 1. Schemat laboratoryjnego pneumatycznego separatora kaskadowego: 1-separator kaskadowy, 2 – wentylator, 3-cyklon

Fig. 1. Chart of a laboratory pneumatic cascade separator: 1-cascade separator, 2 – ventilator, 3-cyclone

Wyniki badań

Tabela 1. Wyniki badań dla procesu czyszczenia próbek ziarna pszenicy

Table 1. Test results for cleaning of wheat grain samples

m_z [g·s ⁻¹]	m_p [g·s ⁻¹]	K_{All} [%]	K_{Od} [%]	C_{All} [%]	C_{cel} [%]	a1 [%]	b1 [%]	a2 [%]	b2 [%]	ϵ	ϵ_M	$\Delta\epsilon$ [%]
16,70	4,83	99,18	1,30	0,82	0,00	97,88	1,30	0,00	0,82	0,613	0,632	-2,92
16,70	5,57	99,52	1,00	0,48	0,00	98,52	1,00	0,00	0,48	0,676	0,655	3,08
16,70	6,41	98,98	0,70	1,02	0,62	98,28	0,70	0,62	0,40	0,632	0,630	0,31
16,70	7,16	97,44	0,76	2,56	1,96	96,68	0,76	1,96	0,60	0,548	0,561	-2,43
16,70	7,89	94,72	0,60	5,28	4,58	94,12	0,60	4,58	0,70	0,440	0,449	-2,09
16,70	8,55	84,38	0,42	15,62	14,84	83,96	0,42	14,84	0,78	0,297	0,315	-5,49
16,70	9,10	69,01	0,32	30,99	30,04	68,69	0,32	30,04	0,95	0,175	0,175	0,17
22,59	5,57	99,25	1,20	0,75	0,02	98,05	1,20	0,02	0,73	0,622	0,626	-0,66
22,59	6,41	99,34	1,08	0,66	0,03	98,26	1,08	0,03	0,63	0,631	0,641	-1,96
22,59	7,16	98,21	1,02	1,79	1,10	97,19	1,02	1,10	0,69	0,590	0,614	-3,88
22,59	7,89	96,76	0,91	3,24	2,53	95,85	0,91	2,53	0,71	0,547	0,540	1,32
22,59	8,55	95,10	0,85	4,90	3,82	94,25	0,85	3,82	1,08	0,423	0,439	-3,63
22,59	9,10	93,65	0,82	6,35	4,83	92,83	0,82	4,83	1,52	0,333	0,328	1,54
28,55	5,57	99,24	1,16	0,76	0,00	98,08	1,16	0,00	0,76	0,604	0,624	-3,17
28,55	6,41	98,98	0,94	1,02	0,62	98,04	0,94	0,62	0,40	0,697	0,686	1,61
28,55	7,16	98,68	0,92	1,32	0,94	97,76	0,92	0,94	0,38	0,701	0,695	0,88
28,55	7,89	97,20	0,82	2,80	2,36	96,38	0,82	2,36	0,44	0,635	0,660	-3,77
28,55	8,55	95,90	0,76	4,10	3,58	95,14	0,76	3,58	0,52	0,572	0,593	-3,58
28,55	9,10	94,32	0,70	5,68	5,06	93,62	0,70	5,06	0,62	0,503	0,511	-1,58

Jako kryterium oceny procesu zastosowano współczynnik jakości czyszczenia [Grochowicz 1971]:

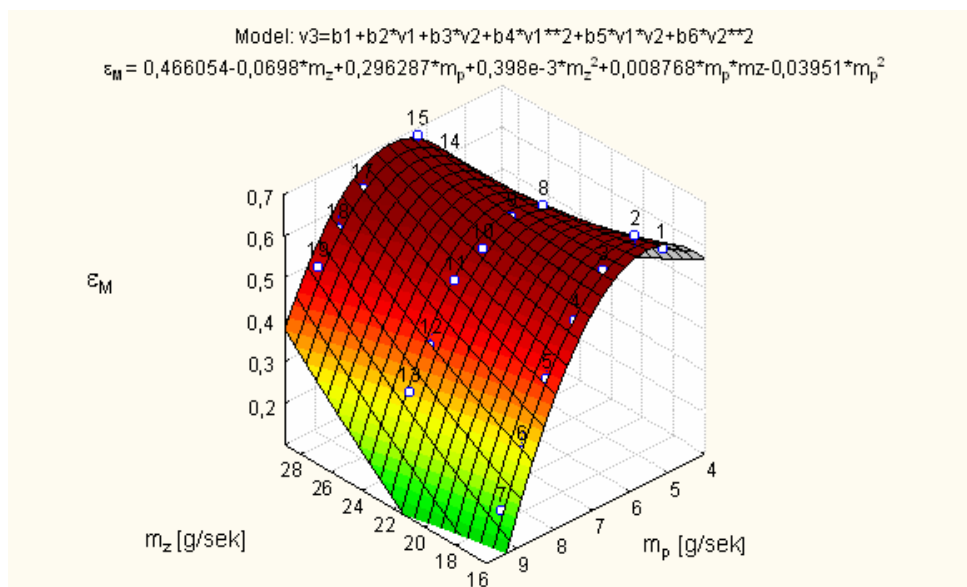
$$\varepsilon = a1/a0 - b1/b0 = b2/b0 - a2/a0, \quad (1)$$

Dla idealnego czyszczenia ε przyjmuje wartość równą 1 oraz wartości mniejsze od 1 dla rzeczywistych procesów.

Do doboru funkcji matematycznych odwzorowania procesu czyszczenia pszenicy zastosowano procedury linearyzowanej regresji nieliniowej oraz estymacji nieliniowej programu Statistica 6. Do równania odwzorowania procesu wprowadzono dwie zmienne decyzyjne m_p oraz m_z oraz zastosowano następujące równanie algebraiczne drugiego stopnia:

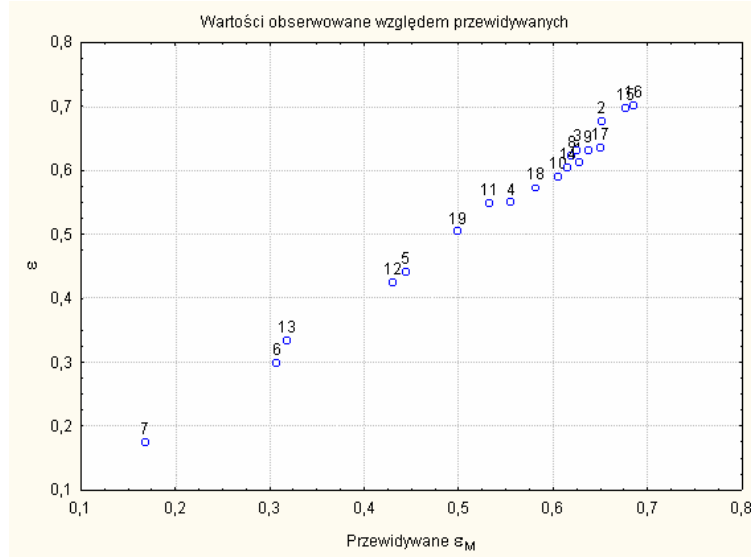
$$\varepsilon_M = c1+c2*m_z+c3*m_p+c4*m_z^2+c5*m_z*m_p+c6*m_p^2 \quad (2)$$

Stałe współczynniki $c1, c2, c3, c4, c5, c6$ równania (1) obliczono przy zastosowaniu procedury estymacji nieliniowej programu Statistica 6.



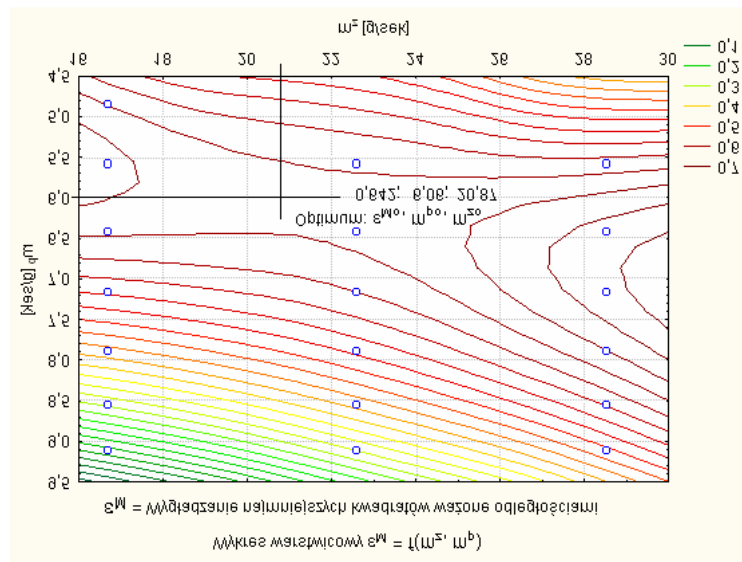
Rys. 2. Funkcja jakość procesu czyszczenia (ε_M) w zależności od masowego natężenia przepływu ziarna (m_z) oraz powietrza (m_p)

Fig. 2. Function of quality of the cleaning process (ε_M) depending on mass intensity of grain (m_z) and air (m_p) flow



Rys. 3. Rozrzut wartości obserwowanych (pomiarowych ε) względem przewidywanych (ε_M)

Fig. 3. Dispersion of observed (measurement) values (ε) in relation to anticipated values (ε_M)



Rys. 4. Wykres warstwiczny $\varepsilon_M = f(m_z, m_p)$

Fig. 4. Contour chart $\varepsilon_M = f(m_z, m_p)$

Po wyznaczeniu stałych współczynników w równaniu (2) otrzymano następujące równanie:

$$\varepsilon_M = 0,466054 - 0,0698 \cdot m_z + 0,296287 \cdot m_p + 0,000398 \cdot m_z^2 + 0,008768 \cdot m_z \cdot m_p - 0,03951 \cdot m_p^2 \quad (3)$$

Na podstawie warunków wyznaczenia ekstremum funkcji (Dziubiński I., Świątkowski T. 1985)

$$\partial \varepsilon_M / \partial m_z = -0,0698 + 0,000796 \cdot m_{z0} + 0,008768 \cdot m_{p0} = 0 \quad (4)$$

$$\partial \varepsilon_M / \partial m_p = 0,296287 + 0,008768 \cdot m_{z0} - 0,07902 \cdot m_{p0} = 0 \quad (5)$$

$$W(m_{z0}, m_{p0}) = \partial^2 \varepsilon_M / \partial m_z^2 \cdot \partial^2 \varepsilon_M / \partial m_p^2 - [\partial^2 \varepsilon_M / \partial m_z \partial m_p]^2 > 0 \quad (6)$$

obliczono maksymalną wartość ε_M oraz optymalne wartości m_{z0} i m_{p0} :

$$\varepsilon_{M0} = 0,642$$

$$m_{z0} = 20,87 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$m_{p0} = 6,06 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

Wnioski

1. Funkcja oceny jakości czyszczenia ε_M umożliwia wyznaczenie optymalnych wartości masowych natężeń przepływu ziarna oraz powietrza dla procesu czyszczenia ziarna pszenicy przy zastosowaniu laboratoryjnego pneumatycznego separatora kaskadowego.
2. Wyznaczona funkcja jakości czyszczenia ε_M może być zastosowana tylko dla przedstawionej metody i zakresu badań.
3. Dla opracowanego odwzorowania, błąd estymacji $\Delta \varepsilon$ zawiera się w granicach od -5,49% do +3,8% (tab. 1):
4. 3. Wyznaczona na podstawie równań (3, 4, 5) maksymalna wartość ε_M oraz optymalne wartości m_{z0} i m_{p0} są następujące:

$$\varepsilon_{M0} = 0,642$$

$$m_{z0} = 20,87 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$m_{p0} = 6,06 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

Bibliografia

Grochowicz J. 1971. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. PWRiL, Warszawa.

Bukowski J. Mechanika płynów. 1997. PWN, Warszawa.

Dziubiński I., Świątkowski T. 1985. Poradnik matematyczny. Cz. 1 i 2. PWN, Warszawa.

Pszczoła T. 1998. Procesy separacji i transportu materiałów sypkich w różnych układach pneumatycznych. Praca magisterska. WTR – AR Lublin, 1998.

Jurga R. 1997. Przetwórstwo zbóż. Cz. 1 i 2.. Warszawa. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne.

OPTIMISATION OF OPERATING PARAMETERS OF A PNEUMATIC CASCADE SEPARATOR

Summary

The study presents the method of choice of mathematical function that allows to assess the quality of cleaning of samples of grain or seeds sent for further processing. The method allows to choose optimal mass values of intensity of air and grain flow. The method of execution procedures were illustrated by an example of preparation and cleaning of 500 g samples of wheat grain in a laboratory pneumatic cascade separator.

Key words: Pneumatic cleaning, cascade separator