

Jerzy KALWAJ

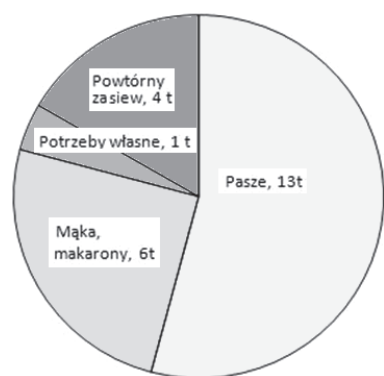
e-mail: kalwaj@utp.edu.pl

Instytut Techniki Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Dobór optymalnych energetycznie parametrów konstrukcyjnych rozdrabniaczy bijakowych do ziarna zbóż

Wstęp

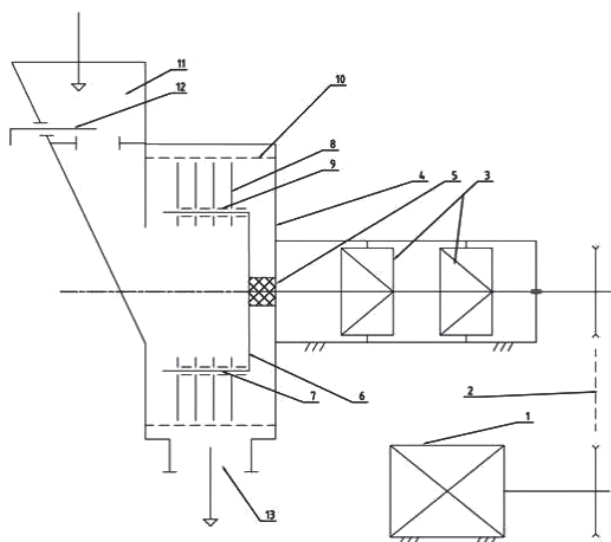
Transformacja gospodarcza w Polsce po 1990 roku spowodowała szereg postępujących zmian strukturalnych w obszarze przemysłu i rolnictwa. Wzrost spożycia mięsa i jego przetworów powoduje powstanie wielu nowych gospodarstw hodowlanych. Farmerzy zainteresowani są produkcją ekonomiczną, w tym również samodzielnym wytwarzaniem karmy dla zwierząt. Stąd zapotrzebowanie na małe (wydajność do 100 kg/h), funkcjonalne i energooszczędne maszyny paszowe – przede wszystkim rozdrabniacze i mieszalniki.



Rys. 1. Bilans produkcji i przetwarzania ziarna zbóż w Polsce [Rocznik statystyczny RP, 2013]

Krajowe, roczne przetwarzanie ziarna na pasze jest duże. Z całej rocznej produkcji ziarna zbóż wynoszącej 20 mln ton, jak pokazuje diagram na rys. 1, aż 14 mln ton jest przetwarzane na pasze poprzez rozdrabnianie i mieszanie w celu zwiększenia efektywności hodowlanej [Rocznik statystyczny RP, 2013]

Rozdrabnianie ziarna na pasze powszechnie realizowane jest za pomocą maszyn udarowo-bijakowych. Istota konstrukcyjna takiego rozdrabniacza została przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Schemat rozdrabniacza bijakowego (1 – silnik napędowy, 2 – przekładnia pasowa, 3 – łożysko toczne, 4 – korpus – obudowa, 5 – uszczelnienie wirnika, 6 – wirnik, 7 – sworzeń, 8 – bijak, 9 – tulejka dystansowa, 10 – sito, 11 – kosz zasypowy, 12 – dozownik)

W przemysłowych rozwiązaniach tych maszyn dominują wydajności od 3 do 10 Mg/h, przy mocach napędów w zakresie 12÷50 kW [Zwonicek, 1997]. Główne parametry konstrukcyjne są następujące [Koch i Noworyta A. 1998]:

- średnica komory roboczej 500 mm,
- grubość bijaka 5÷8 mm,

- prędkość obwodowa wirowania końca bijaków 90÷110 m/s,
- średnice otworów w sicie uwarunkowane potrzebą właściwego stopnia rozdrobnienia ziarna mają 3, 4, 5 lub 6 mm.

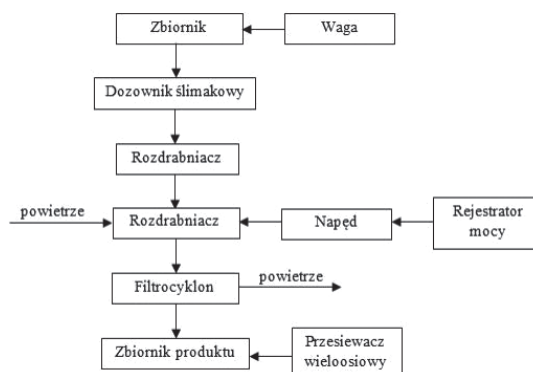
Obecnie istnieje duże zapotrzebowanie na rozdrabniacze małej wydajności w zakresie 300÷1000 kg/h, a brak metod projektowania takich rozdrabniaczy uzasadnia podjęcie tego zagadnienia w niniejszej pracy.

Reasumując powyższe można sformułować następującą hipotezę roboczą: *Opracowanie i zweryfikowanie doświadczalne metody doboru parametrów konstrukcyjnych rozdrabniacza bijakowego o wydajności około 1000 kg/h powinno przyczynić się do zmniejszenia energochłonności procesu przesiewania cząstek, w konsekwencji zmniejszyć koszty eksploatacji rozdrabniaczy.*

Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze

Zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze składające się z układu rozdrabniającego i instalacji pomiarowej zaprezentowane na rys. 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu rozdrabniającego zastosowanego w badaniach [Kalwaj i Mroziński, 2002]

Metodyka

Można zapisać następujące równanie zawierające zmienne niezależne i zależne w przyjętych badaniach eksperymentalnych dla jęczmienia i wybranych średnic otworów w sicie d_1, d_2, d_3, d_4 :

$$E = f(D, L, L_b, g_b, S) \text{ dla } v_b = 90 \text{ m/s} \quad (1)$$

gdzie:

- E – energochłonność jednostkowa procesu rozdrabniania, [kJ/kg],
- D – średnica komory roboczej, [mm],
- L – szerokość komory roboczej, [mm],
- L_b – długość bijaków, [mm],
- g_b – grubość bijaków, [mm],
- S – odległość końca bijaków od powierzchni sita, [mm]
- v_b – prędkość obwodowa bijaków, [m/s],
- d_{1-4} – zastosowane średnice otworów w sicie

Energochłonność jednostkowa procesu zdefiniowana jest jako stosunek poboru mocy całkowitej przez silnik napędowy do wydajności masowej układu. W badaniach przyjęto energochłonność jednostkową procesu wyznaczoną według wzoru:

$$E_p = \frac{P_c - P_j}{Q_m}, \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (2)$$

gdzie: E_p – energochłonność jednostkowa procesu,

$P_c = 3000$ W, moc całkowita rozdrabniacza,

$P_j = 600$ W, moc biegu jałowego,

Q_m – wydajność masowa rozdrabniacza.

Moc wyznaczono jako wartość średnią z zapisu ciągłego rejestratora MPS-7 (miernik parametrów sieci).

Wydajność wyznaczono metodą wagowo-czasową przyjmując masę próbki jęczmienia równą 4 kg.

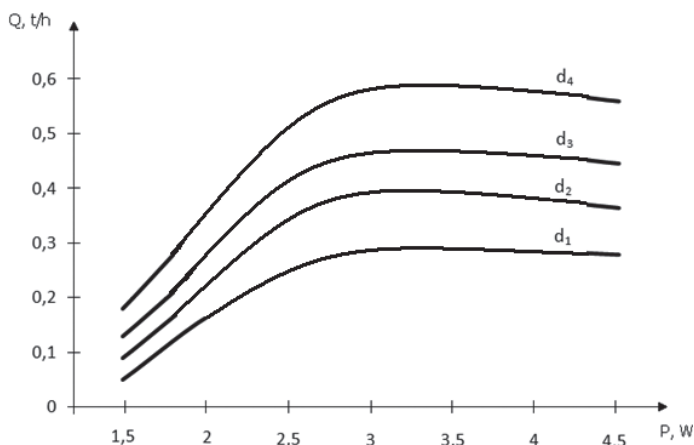
Wartości stałe parametrów rozdrabniacza użytego w badaniach przyjęto na podstawie literatury i badań własnych [Kalwaj i Mroziński, 2002].

Wyniki badań

Wyniki badań poddano obróbce statystycznej, a wybrane dane przedstawiono na rys. 4 oraz w tab. 1.

Tab. 1. Optymalne parametry konstrukcyjne rozdrabniacza o małej wydajności

Parametr	Symbol	Wartość [mm]
Średnica komory roboczej	D	360
Szerokość komory roboczej	L	75
Długość bijaka	L_b	80
Grubość bijaka	g_D	4
Odległość bijaka od sita	S	10



Rys. 4. Zależność wydajności Q rozdrabniacza bijakowego od mocy P , zainstalowanego silnika napędowego, podczas rozdrabniania jęczmienia dla różnych średnic otworów d w sicie rozdrabniacza ($d_1 = 3$ mm, $d_2 = 4$ mm, $d_3 = 5$ mm, $d_4 = 6$ mm)

Wykres na rys. 4 i tab. 1 zawierają zbiór informacji niezbędnych do projektowania rozdrabniaczy o wydajnościach od 300 do 1000 kg/h.

Układ zasilania a obciążenie rozdrabniacza

Rozdrabniacz bijakowy do materiałów ziarnistych nie jest urządzeniem samodzielnym. Musi być wbudowany w układ składający się ze zbiornika surowca, dozownika, rozdrabniacza właściwego oraz urządzenia do odbioru produktu np. podzespołu filtrocyclonowego lub aerocyclonowego. Schemat blokowy takiego układu pokazano na rys. 3.

Przez komorę roboczą maszyny w czasie t przepływa ściśle określona dawka rozdrabnianego materiału określona wydajnością dozownika, a rozdrabniacz może pracować w trzech stanach: przeciążenia, niedociążenia lub obciążenia nominalnego.

Stan przeciążenia występuje wówczas, gdy wydajność sita jest za mała w stosunku do zasilania, a obciążenie silnika napędowego narasta (powyżej prądu znamionowego). Proces przebiega nieprawidłowo, a konsekwencją może być zadziałanie bezpiecznika i wyłączenie silnika napędowego. Gwałtowne narastanie masy w komorze może być przyczyną przepalenia uzwojenia silnika.

Stan niedociążenia charakteryzuje się podawaniem zbyt małej dawki materiału do rozdrabniania, o czym informuje np. natężenie prądu zasilającego. Proces przebiega w miarę prawidłowo przy bardzo małej sprawności. Koszty wykonywania operacji są duże z powodu strat elektrycznych.

Stan nominalnego obciążenia jest wtedy, gdy strumień surowca powoduje, że podstawowy parametr obwodu zasilania, jakim jest natężenie prądu, odpowiada wartości znamionowej silnika elektrycznego.

Istotne jest zatem, aby maszyny przetwórcza pracowała tak, by nominalne obciążenie odpowiadało maksymalnej wydajności.

Autorskie studia teoretyczno-doświadczalne nad tym zagadnieniem [Kalwaj, 2006; 2007; 2009a,b; 2010a,b; 2011] doprowadziły do zaobserwowania prawidłowości i sformułowania w niniejszej pracy twierdzenia, że wskaźnik K_r , określający stosunek powierzchni otworów do powierzchni roboczej bijaków dla rozdrabniaczy o różnych wydajnościach ma wartość stałą:

$$K_r = \frac{\sum A_s}{\sum A_b} = 12 = \text{const} \quad (3)$$

gdzie: K_r – wskaźnik rozdrabniacza,
 A_s – sumaryczna powierzchnia otworów w sicie,
 A_b – sumaryczna powierzchnia robocza bijaków.

Procedura doboru optymalnych parametrów rozdrabniacza

Korzystając z zależności (3) można przeprowadzić następującą procedurę doboru optymalnych parametrów maszyny (np. dla rozdrabniaczy o wydajnościach od 300 do 1000 kg/h):

1. Założyć wydajność rozdrabniacza (uwzględnić twardość ziarna, np.: jęczmienia),
2. Z wykresu (Rys. 4) dobrać moc napędu (która powinna być zawarta w obszarze maksimum funkcji wydajności),
3. Dobrać średnicę komory roboczej (Tab. 1),
4. Przyjąć szerokość komory roboczej (korzystając z opracowanego wskaźnika K_r),
5. Przyjąć parametry bijaków i sita (Tab. 1)
6. Założyć rodzaj i dobrać rozwiązanie urządzenia dozującego (np.: układ szczelinowo-grawitacyjny lub układ wibracyjny z regulowaną wydajnością).

Podsumowanie i wnioski

- Rozdrabnianie zbóż na paszę jest procesem kosztownym, stąd uzasadnione jest prowadzenie prac nad jego modernizacją.
- Zainteresowanie farmerów samodzielną produkcją pasz powoduje wzrost zapotrzebowania na rozdrabniacze małej wydajności do 1000 kg/h.
- Badania doświadczalne pozwoliły określić optymalne parametry takich rozdrabniaczy (Tab. 1).
- Badania doświadczalne umożliwiły przeprowadzenie weryfikacji hipotezy roboczej dotyczącej zależności między średnicą i liczbą otworów w sicie oraz liczbą bijaków. Weryfikacja w całym zakresie badań potwierdziła słuszność hipotezy, co ułatwia projektowanie nowych obiektów.

LITERATURA

- Kalwaj J., 2006. Jednostkowa praca rozdrabniania udarowego ziaren zbóż. *Inż. Ap. Chem.*, **45**, nr 1-2, 45-46
- Kalwaj J., 2007. Wpływ konstrukcji wirnika bijakowego na stopień rozdrobnienia materiałów ziarnistych. *Inż. Ap. Chem.*, **46**, nr 1, 55-56
- Kalwaj J., 2009a. Wpływ konstrukcji bijaków na efektywność rozdrabniania udarowego ziarna zbóż. *Inż. Ap. Chem.*, **48**, nr 2, 56-57
- Kalwaj J., 2009b. Wpływ konstrukcji wirnika na energochłonność rozdrabniacza udarowego ziarna zbóż. *Inż. Ap. Chem.*, 2009, **48**, nr 2, 58-59
- Kalwaj J., 2010a. Bilans energetyczny rozdrabniacza bijakowego do ziarna zbóż. *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 5, 51-52
- Kalwaj J., 2010b. Zagadnienia energetyczne zespołu roboczego rozdrabniacza bijakowego do ziarna zbóż. *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 5, 53-54
- Kalwaj J., 2011. Wpływ konstrukcji zespołu roboczego rozdrabniacza udarowego na efektywność jego pracy. *Inż. Ap. Chem.*, **50**, nr 3, 31-32
- Kalwaj J., Mroziński A., 2002. *The problem of energy consumption in hammer mill for corn grain*. Międzynarodowy Kongres CHISA, Praga
- Koch R., Noworyta A., 1998. *Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej*. WNT, Warszawa
- Rocznik statystyczny RP, 2013. GUS Warszawa
- Zwonicek J., 1997. *Maszyny przemysłu spożywczego*. WNT, Warszawa