

Analiza procesu rozdrabniania nasion soi

Sławomir Gawłowski, Janusz Laskowski, Ryszard Kulig, Adam Zdybel

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin, e-mail: sławomir.gawlowski@up.lublin.pl

Streszczenie. W publikacji przedstawiono analizę wpływu wilgotności na proces rozdrabniania nasion soi. Pomiarzy przeprowadzone zostały przy wykorzystaniu laboratoryjnego rozdrabniacza bijakowego, z zastosowaniem zmiennych prędkości wirnika rozdrabniacza w zakresie 5000-7000 obr·min⁻¹. Nasiona soi doprowadzono do siedmiu poziomów wilgotności od 8 do 20% co 2%. Analiza wyników badań, wykazała istotne zależności pomiędzy wilgotnością, a energochłonnością rozdrabniania, a także analiza wariancji udowodniła istotne różnice dla poszczególnych poziomów wilgotności. Powiązania badanych cech z wilgotnością nasion soi przedstawione zostały w postaci równań regresji.

Słowa kluczowe: soja, rozdrabnianie, wilgotność, prędkość bijakowa.

WYKAZ OZNACZEŃ

d_m – średni wymiar cząstki [mm],
 E_f – wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie [$J \cdot m^{-2}$],
 E_r – jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie [$J \cdot g^{-1}$],
 E_{roz} – energia na rozdrabnianie próbki ziarna [J],
 h_1 – średnia wartość przedziału klasowego [mm],
 m_r – masa rozdrabnianej próbki [g],
 n – ilość zastosowanych sit,
 P_1 – udział cząstek zatrzymanych na danym sicie [%],
 S_n – powierzchnia powstała podczas rozdrabniania [m^2],
 w_z – wilgotność ziarna [%],
 ρ – gęstość materiału [$kg \cdot m^{-3}$],

WPROWADZENIE

Surowcom strączkowym poświęca się dużo uwagi ze względu na znaczną rolę jaką odgrywają w żywieniu ludzi i zwierząt, jako źródło białka, włókna, soli mineralnych i witamin. Równocześnie istnieje też potrzeba rozwoju i zastosowania nowych technologii dla ich przetwórstwa. Jednym

z podstawowych procesów któremu poddawane są nasiona roślin strączkowych jest rozdrabnianie [9]. Decyduje ono o przebiegu dalszych etapów przetwórczych [4]. Wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia zwiększają się jednak nakłady energii na dekohezję cząstek [8].

Jakość uzyskanego produktu zależna jest od podatności materiału na rozdrobnienie. Stopień rozdrobnienia oraz energochłonność procesu zależy również od cech fizycznych nasion, parametrów konstrukcyjnych rozdrabniacza oraz sposobu prowadzenia procesu [1]. Spośród właściwości materiału najważniejszym parametrem w procesie rozdrabniania jest zawartość wody. Wzrost wilgotności przyczynia się do zwiększenia nakładów jednostkowych energii rozdrabniania szczególnie przy wykorzystaniu rozdrabniaczy bijakowych [6, 3].

Należy zauważyć że stopień rozdrobnienia materiału wywiera wpływ na właściwości półproduktów, a także na kolejne czynności technologiczne, spośród których należy wymienić: mieszanie i granulowanie. Ponadto znaczenie efektywniejsze jest stosowanie w żywieniu odpowiednio rozdrobnionych surowców, a niżeli całych nasion bądź ziaren. Stopień rozdrobnienia surowców decyduje o jakości i wartości odżywczej mieszanek paszowych. Dzięki rozdrobnieniu otrzymujemy większą powierzchnię właściwą cząstek co powoduje lepsze przyswajanie paszy przez zwierzęta. Rozdrobnienie surowców jest także warunkiem uzyskania jednorodnych mieszanek wieloskładnikowych, co ułatwia manipulowanie nimi w dalszych operacjach [5].

METODYKA BADAŃ

Badania procesu rozdrabniania zostały wykonane na laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym POLYMIX-Micro-Hammermill MFC. Rozdrabniacz współpracował bezpośrednio z komputerowym układem pomiarowym mocy czynnej prądu jednofazowego. Charakterystyka stanowiska pomiarowego przedstawiona została w opracowaniu [7].

Materiał badawczy stanowiły nasiona soi z firmy „Dan-ko” hodowla Roślin Sp.z o.o.. Nasiona doprowadzone zostały do wilgotności 8; 10; 12; 14; 16; 18 i 20% ($\pm 0,2\%$) zgodnie z Polską Normą (PN-91/A-74010) i zostały rozdrobnione przy zastosowaniu sita o wymiarze oczek 2 mm i pięciu poziomach prędkości obrotowej wirnika tj. 5000; 5500; 6000, 6500 i 7000 obr·min⁻¹. Pomiary wykonane zostały w pięciu powtórzeniach dla każdej prędkości i wilgotności nasion.

Dla rozdrobnionych próbek nasion soi określony został skład granulometryczny zgodnie z Polską Normą (PN-89/R-64798) co pozwoliło określić średni wymiar cząstki według wzoru [2]:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i P_i}{100} \quad (1)$$

Jednostkowe nakłady energii rozdrabniania E_r wyznaczono ze wzoru:

$$E_r = \frac{E_{roz}}{m_r} \quad (2)$$

a wskaźnik podatności na rozdrabnianie E_f został wyznaczony jako iloraz energii pobranej podczas rozdrabniania i nowej powierzchni powstałej na skutek rozdrobnienia [Posner 1991]:

$$E_f = \frac{E_{roz}}{S_n} \quad (3)$$

Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej wykorzystując program STATISTICA. Za pomocą testu Tukey'a zostało przeprowadzone szczegółowe porównanie przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ oraz określono także zależności w postaci równań regresji. W przyjętym zakresie

badan określono wartości średnie, błędy i odchylenia standardowe. Dla badanych prędkości bijakowych obliczono także wskaźnik podatności na rozdrabnianie.

WYNIKI BADAŃ

Analiza wyników wykazała, że wilgotność wpływa istotnie na badane parametry procesu rozdrabniania nasion soi. W tab. 1-3 zostały umieszczone wyniki analizy wariancji natomiast w tab. 4 równania regresji.

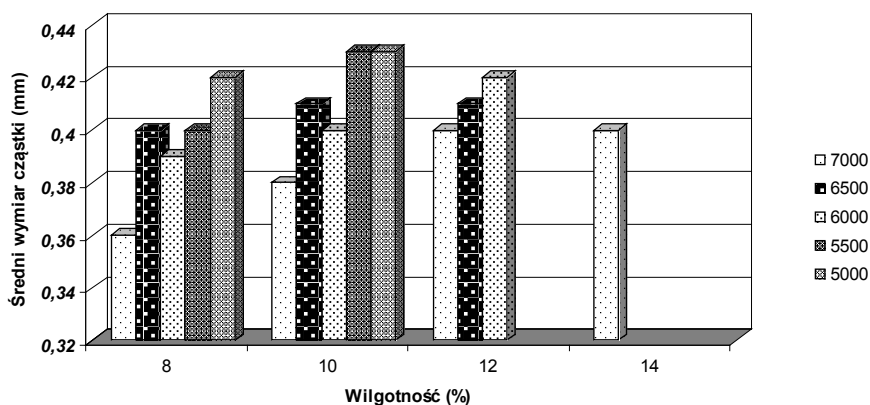
Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotne różnice jakie wystąpiły przy wartościach średniego wymiaru cząstki d_m (tab. 1). Analizując średni wymiar cząstek zauważyć można że rośnie on wraz ze wzrostem wilgotności nasion od 8 do 14%. Wartości średniego wymiaru cząstek zostały przedstawione na rys. 1.

Wartości jednostkowe energii rozdrabniania dla nasion soi zawierały się w przedziale od 84,99 J·g⁻¹ przy najmniejszej prędkości obrotowej bijaków do 464,03 J·g⁻¹ dla największej prędkości. Na podstawie uzyskanej analizy wyników stwierdzono że jednostkowe zużycie energii na rozdrabnianie zwiększa się wraz ze wzrostem wilgotności nasion oraz prędkości bijaków. Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie dla poszczególnych poziomów wilgotności nasion soi, przy zastosowaniu różnych prędkości rozdrabniania zostały przedstawione na rys. 2. Natomiast zależności jakie uzyskano z analizy regresji zestawiono z tab. 4.

Jednowymiarowy test istotności wariancji dla wskaźnika podatności nasion na rozdrabnianie pozwolił stwierdzić, że występują istotne różnice w badanym parametrze przy różnej wilgotności nasion i prędkości bijaków (tab. 3).

Tabela 1. Analiza wariancji dla średniego wymiaru cząstki d_m
Table 1. Arianse analysis for mean particie size d_m

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków	SS · 10 ⁴	df	MS · 10 ⁴	F · 10 ⁻⁴	p · 10 ²
Wyraz wolny – Intercept	7000	0,03	1	0,03	1,37	0,00
Wilgotność – Moisture kontent		0,00	3	0,00	0,0003	4,61
Błąd standardowy Standard error		0,00	16	0,00		
Wyraz wolny – Intercept	6500	0,02	1	0,02	0,94	0,00
Wilgotność – Moisture kontent		0,00	2	0,00	0,0002	0,005
Błąd standardowy Standard error		0,00	12	0,00		
Wyraz wolny – Intercept	6000	0,02	1	0,02	0,97	0,00
Wilgotność – Moisture kontent		0,00	2	0,00	0,0004	3,16
Błąd standardowy Standard error		0,00	12	0,00		
Wyraz wolny – Intercept	5500	0,02	1	0,02	0,62	0,00
Wilgotność – Moisture kontent		0,00	1	0,00	0,0009	1,70
Błąd standardowy Standard error		0,00	8	0,00		
Wyraz wolny – Intercept	5000	0,02	1	0,02	0,64	0,00
Wilgotność – Moisture kontent		0,00	1	0,00	0,00	100,00
Błąd standardowy Standard error		0,00	8	0,00		



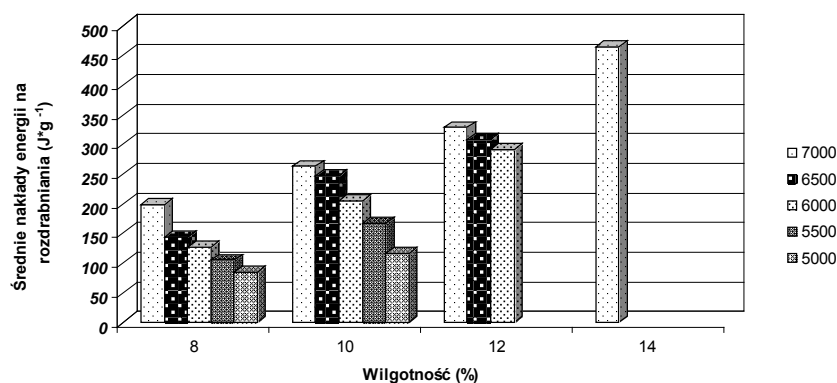
Rys. 1. Średni wymiar cząstki d_m śruty sojowej dla poszczególnych wilgotności ziarna

Fig. 1. Mean particle size d_m soybean meal for each moisture content

Tabela 2. Analiza wariancji dla jednostkowych nakładów energii na rozdrabnianie E_r

Table 2. Variance analysis for specific grinding energy E_r

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków	SS · 10	df	MS · 10	F · 10 ²	p
Wyraz wolny – Intercept	7000	78,39	1	78,39	250,65	0,00
Wilgotność – Moisture content		7,77	3	2,59	8,28	0,00
Błąd standardowy Standard error		0,05	16	0,003		
Wyraz wolny – Intercept	6500	3,26	1	3,26	495,34	0,000
Wilgotność – Moisture content		0,27	2	0,13	21,00	0,000
Błąd standardowy Standard error		0,0007	12	0,00006		
Wyraz wolny – Intercept	6000	2,58	1	2,58	443,03	0,000
Wilgotność – Moisture content		0,27	2	0,13	23,62	0,000
Błąd standardowy Standard error		0,0006	12	0,00005		
Wyraz wolny – Intercept	5500	0,72	1	0,72	390,59	0,000
Wilgotność – Moisture content		0,03	1	0,038	20,36	0,000
Błąd standardowy Standard error		0,0001	8	0,00001		
Wyraz wolny – Intercept	5000	0,40	1	0,40	170,74	0,000
Wilgotność – Moisture content		0,009	1	0,009	3,88	0,000
Błąd standardowy Standard error		0,0001	8	0,00002		

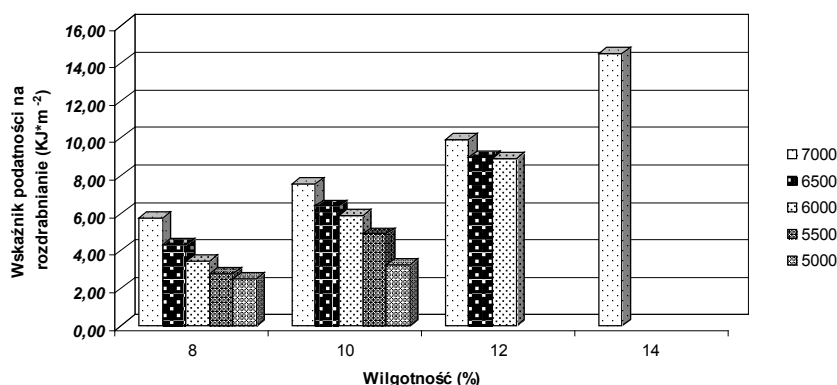


Rys. 2. Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r dla poszczególnych wilgotności nasion

Fig. 2. Specific grinding energy E_r for each moisture content

Tabela 3. Analiza wariancji dla wskaźnika podatności nasion na rozdrabnianie E_f **Table 3.** Arianace analysis for energy utilization index E_f

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków	SS · 10 ²	df	MS · 10 ²	F · 10 ²	p
Wyraz wolny – Intercept	7000	50,035	1	50,035	26,702	0,000
Wilgotność – Moisture kontent		5,818	3	1,939	1,035	0,000
Błąd standardowy Standard error		0,299	16	0,018		
Wyraz wolny – Intercept	6500	18,30	1	18,325	19,044	0,000
Wilgotność – Moisture kontent		1,30	2	0,693	0,720	0,000
Błąd standardowy Standard error		1	12	0,009		
Wyraz wolny – Intercept	6000	15,608	1	15,608	22,332	0,000
Wilgotność – Moisture kontent		1,971	2	0,985	1,410	0,000
Błąd standardowy Standard error		0,083	12	0,006		
Wyraz wolny – Intercept	5500	4,230	1	4,230	10,446	0,000
Wilgotność – Moisture kontent		0,296	1	0,296	0,731	0,00002
Błąd standardowy Standard error		0,032	8	0,004		
Wyraz wolny – Intercept	5000	2,33	1	2,33	16,45	0,000
Wilgotność – Moisture kontent		0,05	1	0,05	0,37	0,00002
Błąd standardowy Standard error		0,001	8	0,001		

**Rys. 3.** Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f dla poszczególnych wilgotności nasion**Fig. 3.** Energy utilisation index E_f for each moisture content

Największe wartości wskaźnika podatności soi na rozdrabnianie przy wilgotności 14% uzyskano dla prędkości 7000 obr/min, (14,51 kJ·m⁻²). Natomiast najmniejszą wartość (2,47 kJ·m⁻²) uzyskano przy prędkości 5000 obr/min i dla wilgotność 8%. Na rys. 3 przedstawiono zależności pomiędzy wskaźnikiem podatności, a wilgotnością dla pięciu wartości prędkości obrotowej. Wyniki analizy regresji przedstawiono w tab. 4.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań można przedstawić następujące wnioski:

1. Wilgotność nasion soi w większym stopniu wpływa na proces udarowego rozdrabniania niż zmiana prędkości obrotowej bijaków.

2. Wraz ze wzrostem wilgotności nasion soi stwierdzono spadek średniego wymiaru cząstki śruty.
3. Wraz ze wzrostem wilgotności soi od 8 do 14% jednostkowa energia rozdrabniania zwiększyła się o około 100%.
4. Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie zwiększał się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej bijaków. Zależności takie stwierdzono przy każdym z rozpatrywanych poziomów zawartości wody w nasionach soi.
5. Wzrost prędkości obrotowej bijaków przyczynił się do uzyskiwania śruty o drobniejszej granulacji.

LITERATURA

1. **Bieliński M.** 1990. Rozdrabnianie tworzyw wtórnych w warunkach ciecicia quasi i technologicznego. OWSIMP, Częstochowa

Tabela 4. Zestawienie równań regresji i wartości współczynnika determinacji określających zależności pomiędzy właściwościami fizycznymi i parametrami procesu rozdrabniania soi a wilgotnością**Table 4.** Equations and determination coefficients expressing the relationships between physical properties and some grinding features of soya and moisture content

Badana cecha Determined characteristic	Prędkość bijkaków	Równanie – Equation	R ²
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r ($J \cdot g^{-1}$) Specific grinding energy E_r ($J \cdot g^{-1}$)	7000	$E_r = 4,448 w_z^2 - 54,62 w_z + 353,4$	0,987
Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f ($J \cdot m^{-1}$) Energy tilization index E_f ($J \cdot m^{-1}$)		$E_f = 0,108 w_z^2 + 2,161$	0,935
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r ($J \cdot g^{-1}$) Specific grinding energy E_r ($J \cdot g^{-1}$)	6500	$E_r = -5,211 w_z^2 + 145,4 w_z - 685,6$	0,997
Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f ($J \cdot m^{-1}$) Energy tilization index E_f ($J \cdot m^{-1}$)		$E_f = 0,092 w_z^2 + 1,510$	0,922
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r ($J \cdot g^{-1}$) Specific grinding energy E_r ($J \cdot g^{-1}$)	6000	$E_r = 2,069 w_z^2 - 5,099$	0,996
Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f ($J \cdot m^{-1}$) Energy tilization index E_f ($J \cdot m^{-1}$)		$E_f = 0,110 w_z^2 - 1,177$	0,959
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r ($J \cdot g^{-1}$) Specific grinding energy E_r ($J \cdot g^{-1}$)	5500	$E_r = 30,84 w_z - 142,5$	0,996
Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f ($J \cdot m^{-1}$) Energy utilisation index E_f ($J \cdot m^{-1}$)		$E_f = 1,720 w_z - 8,984$	0,901
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r ($J \cdot g^{-1}$) Specific grinding energy E_r ($J \cdot g^{-1}$)	5000	$E_r = 15,09 w_z - 35,80$	0,979
Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f ($J \cdot m^{-1}$) Energy utilisation index E_f ($J \cdot m^{-1}$)		$E_f = 0,731 w_z - 1,748$	0,824

- Branland G. i wsp.:** 1997. La dureté des blés sélectionnés en France évolution et conséquences. Industries des Céréales 101:5-10.
- Dziki D.** 2007. Ocena energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy poddanego uprzednio zgniataniu. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(96) Kraków. s. 51-58.
- Dziki D., Przypek-Ochab D.:** 2009. Ocena energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy zróżnicowanego pod względem twardości. Inżynieria Rolnicza 5(114), 61-97.
- Jasińska Z., Kotecki A.:** 1993. Rośliny strączkowe PWN Warszawa, 61-88.
- Kowalik K., Opielak M.** 2002. Badanie wpływu wilgotności i rodzaju ziarna zbóż na jednostkowe zużycie energii podczas rozdrabniania. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 10(4). Warszawa. s. 51-55.
- Laskowski J., Łysiak G.:** 1997. Use of compression behaviour of legume seed in view of impact grinding prediction. Powder Technol. 105, 83-88.
- Laskowski J., Łysiak G., Skonecki S.:** 2005. Mechanical properties of granular agromaterials and food powders for industrial practice. Part II. Material properties for grinding and agglomeration. Institute of Agrophysics PAS, Lublin. s. 29-30.
- Walczyński S.:** 1995. Uniwersalna technologia rozdrabniania surowców paszowych. Pasze Polskie, 1-2, 7-9.

PARAMETERS OF SHREDDING SOYA BEANS

Summary. The aim of the study was to analyze the influence of moisture content on grinding process of soybeans. The research was made using a laboratory hammer-mill at the velocity in the range of 5000-7000 rev·min⁻¹. Soybeans were fed to seven moisture levels of 8 to 20%. During research the grinding parameters were evaluated. Significant relations were established between the moisture content and grinding energy. The analysis of variance showed that grinding parameters were statistically significantly different for various kernel moisture content level. Relationship studied traits of moisture soybeans are presented in the form of regression equations.

Key words: soya, grinding, moisture, hammer velocity.

