

ENERGOCHŁONNOŚĆ ROZDRABNIANIA RDZENI KOLB KUKURYDZY CUKROWEJ

Mariusz Szymanek, Kazimierz A. Dreszer

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Przedstawiono badania dotyczące określenia jednostkowej energii rozdrabniania rdzeni kolb kukurydzy cukrowej na rozdrabniaczu bijakowych w zależności od trzech średnic otworów sita oraz trzech odmian (Shaker, Boston i Garrison). Najwyższe wartości jednostkowej energii rozdrabniania wystąpiły dla odmiany Shaker, a najniższe dla odmiany Garrison. Wraz ze zwiększaniem średnicy otworów sita następował spadek jednostkowej energii rozdrabniania średnio, dla badanych odmian, o około 33%.

Słowa kluczowe: kukurydza, energochłonność, rozdrabnianie

Wstęp

Wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii [Zdrojewski i Peroń 2002] sprawia, że coraz częściej poszukuje się tanich technologii pozyskiwania i zagospodarowywania wszelkich surowców roślinnych na cele energetyczne. Jednym z takich produktów są odpadki kukurydziane na które składają się łodygi, liście łodyg, rdzenie (osadki) i liście okrywowe kolb [Hang i Woodams 2001, Pordesimo i in. 2005, Kaliyan i Morey 2010]. Stanowią one około 50% całkowitej masy roślinnej w przypadku produkcji kukurydzy nasiennej [Mayers i Underwood 1992] i około 70% w produkcji kukurydzy konserwowej [Fritz i in. 2004, Love 1990].

Na szczególną uwagę zasługują rdzenie kolb, które na świecie jak i w kraju znajdują coraz szersze wykorzystanie jako odnawialne paliwo do produkcji energii elektrycznej i ciepłej [Soltes, 1983; Barnard i Kristoferson, 1983; Enweremadu i inni 2004].

Rdzenie kolb są względnie tanim, o dużej objętości, produktem ubocznym w produkcji ziarna nasiennego i konserwowego. Charakteryzują się one masą właściwą na poziomie $0,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ przy wielkości cząstek w przedziale od 0,95 do 2 mm [Vaughan i in. 2001] i wartością opałową około $1870 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Zdrojewski 2002]. Średnio na każde 100 kg ziarna kukurydzy przypada ok. 18 kg rdzeni [Bagby i Widstrom 1997].

Wzrost zainteresowania konsumpcją jak i uprawą kukurydzy cukrowej [Warzecha 2003, Waligóra 2004], przyczynił się w ostatnich latach do zwiększenia liczby zakładów przetwórczych zajmujących się pozyskiwaniem ziarna kukurydzy cukrowej na cele spożywcze, a tym samym do powstawania dużych ilości organicznych odpadów, a zwłaszcza rdzeni kolb.

W odróżnieniu od rdzeni kolb powstających w produkcji nasiennej, rdzenie kolb kukurydzy cukrowej charakteryzują się względnie znacznie wyższą wilgotnością, sięgającą

ponad 50%, wynikającą z pozostałości nie odciętego na nich ziarna [Brecht 1998; Feibert 1997].

Ze względu na to, że zagospodarowanie rdzeni kolb zarówno na cele grzewcze, paszowe czy nawozowe związane jest zwykle z jego rozdrobieniem, które jest procesem energochłonnym i skomplikowanym [Grochowicz 1996; Molendowski 2001]. Dlatego też celem podjętych badań było określenie energochłonności procesu rozdrabniania rdzeni kolb kukurydzy cukrowej.

Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono na rdzeniach kolb kukurydzy cukrowej odmiany Shaker, Boston i Garrison. Charakterystykę badanego materiału przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka rdzeni kolb kukurydzy cukrowej

Table 1. Characteristic of sweetcorn cobs stems

Wyszczególnienie	Odmiana					
	Shaker	SD* [%]	Boston	SD* [%]	Garrison	SD* [%]
Długość [cm]	21,6	3,1	21,2	2,4	23,1	2,1
Średnica [cm]	4,2	0,8	3,1	0,6	3,6	0,4
Masa [g]	116,4**	4,2	101,2 ^{ba}	5,8	129,2 ^{cab}	5,9
Gęstość [kg·m ⁻³]	698,6	4,8	705,5	5,1	711,7	4,3
Wilgotność [%]	21,2	1,2	19,2	0,9	20,2	1,3

* odchylenie standardowe (SD)

** takie same litery przy wartościach oznaczają istotne różnice statystyczne

Rdzenie do badań pobierano bezpośrednio po odcięciu ziarna od kolb na obcinarce Corn Cutter SC-120 firmy FMC FoodTech przy prędkości obrotowej głowicy nożowej 1600 obr·min⁻¹ i prędkości liniowej podajnika kolb 0,31 m·s⁻¹.

Energochłonność rozdrabniania realizowano na rozdrabniaczu bijakowym WIR 2 dla otworów sita 5; 10 i 15 mm. Pobór energochłonności rozdrabniania rdzeni określano za pomocą przetwornika mocy i energii elektrycznej Lumel PP83.

Pobór energii użytecznej rozdrabniania (E_u) rdzeni kolb kukurydzy cukrowej określano z różnicy całkowitej energii pobieranej w czasie procesu rozdrabniania i energii biegu jałowego rozdrabniacza.:

$$E_u = E_c - E_j \text{ [MJ} \cdot \text{t}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

E_c – energia całkowita zużywana w czasie pracy rozdrabniacza [MJ],

E_j – energia biegu jałowego rozdrabniacza [MJ].

Jednostkowy pobór energii (E_j) obliczono dzieląc pracę użyteczną przez masę próbki

$$E_j = \frac{L_u}{m} \quad [\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- Lu – praca użyteczna [MJ],
- m – masa rozdrobnionej próbki [Mg].

Pomiary przeprowadzono na próbie liczącej 30 rdzeni w 6 powtórzeniach dla każdej kombinacji średnicy sita i odmiany.

Wilgotność badanego materiału określono przy użyciu metody suszarkowo-wagowej zgodnie z PN-90/A-75101.03.

Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej dla poziomu istotności $\alpha=0,05$ za pomocą programu komputerowego Statistica 6.0 PL.

Analiza wyników

Powszechnie wiadomo jest, że energia rozdrabniania materiałów biologicznych jest uzależniona od właściwości fizycznych, w tym od wilgotności badanego materiału [Zawiślak 1997; Opielak i Komsta 2001].

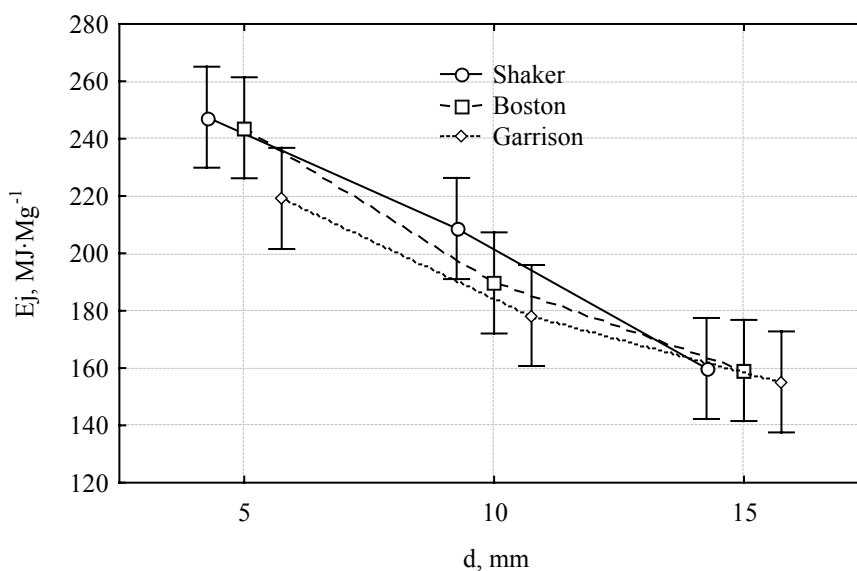
Z charakterystyki przedstawionego materiału wynika, że wilgotność badanego materiału nie jest istotnie zróżnicowana statystycznie, dlatego też dalsze rozważania przeprowadzono zakładając, że jest ona jednakowa.

Przeprowadzona analiza wariancji wpływu odmiany i średnicy otworów oczek sita na jednostkowy pobór energii rozdrabniania wykazała istotny statystyczny wpływ głównych czynników oraz ich interakcji (tab. 2).

Tabela 2. Analiza wariancji czynników wpływających na E_j
Table 2. Variation analysis of factors influencing E_j

Wyszczególnienie	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	Test F	Poziom p
Odmiana (od)	4104	2	2052	4,46	0,017
Średnica sita (d)	56181	2	28090	61,12	0,000
Interakcja o x d	1641	4	410	0,89	0,476
Błąd	20680	45	460		

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg zmian jednostkowego poboru energii w zależności od odmiany i średnicy sita (d).



Rys. 1. Przebieg zmian jednostkowego poboru energii w zależności od odmiany i średnicy sита (d).

Fig. 1. Course of changes of specific energy consumption depending on the variety and a sieve diameter (d)

Na podstawie testu F (tab. 2) jak i testu wielokrotnych powtórzeń metodą Tukey'a (tab. 4) można stwierdzić, że największy wpływ na średnią wartość E_j miała średnica otworów sита (d).

Tabela 4. Test Tukey'a dla E_j

Table 4. The Tukey test for E_j

Nr podklasy	Grupy jednorodne, $\alpha = 0,05$						
	Odmiana	d	E_j	1	2	3	4
9	Garrison	15	155,1	****			
6	Boston	15	159,1	****			
3	Shaker	15	159,8	****			
8	Garrison	10	178,3	****	****		
5	Boston	10	189,6	****	****	****	
2	Shaker	10	208,6		****	****	****
7	Garrison	5	219,1			****	****
4	Boston	5	243,8				****
1	Shaker	5	247,5				****

Zmiana średnicy otworów sita (d) z 5 mm do 10 mm powodowała spadek E_j o około 19% dla odmiany Garrison, o około 22% dla odmiany Boston i około 16% dla odmiany Shaker. Z kolei zmiana z 10 mm do 15 mm powodowała odpowiednio spadek o około 12; 16 i 23%. Natomiast w przedziale od 5 mm do 15 mm odnotowano spadek odpowiednio o około 29, 34 i 35%. Zróżnicowanie pomiędzy średnimi wartościami E_j dla średnicy 5 mm zawierało się w przedziale od około 2% (pomiędzy Boston – Shaker) do około 12% (pomiędzy Garrison – Shaker), dla średnicy 10 mm od około 6% (Garrison – Boston) do około 14% (Garrison – Shaker) i dla średnicy 15 mm od około 0,4% (Boston – Shaker) do około 5% (Garrison – Shaker).

Wnioski

1. Stwierdzono, że jednostkowa energia rozdrabniania rdzeni kolbowych zależy w głównej mierze (około 92% zmiennej zależnej - E_j jest wyjaśniane przez zmienną niezależną - d , na podstawie testu F) od wielkości średnicy otworów sita.
2. Wraz ze zwiększaniem średnicy otworów sita nastąpił spadek jednostkowej energii rozdrabniania średnio, dla badanych odmian, o około 33%.
3. Różnice pomiędzy średnimi wartościami E_j w ramach badanych odmian kształtowały się na poziomie 8% dla $d = 5$ mm, 10% dla $d = 10$ mm i 3% dla $d = 15$ mm.

Bibliografia

- Bagby M. O., Widstrom N. W.** 1987. Corn: chemistry and technology. Edited by Watson S. A., Ramstad P. E., Paul S. American Association of Cereal Chemists, Inc., pp. 575-590.
- Barnard G., Kristoferson L.** 1983. Agricultural residues as fuel in the third World. Earth Scan Technical. Vol. 4. pp. 11-16.
- Enweremadu C. C., Ojediran J. O., Ogunwa A., Afolabi L. O.** 2004. Determination of the energy potentials of orange pomace. Science Focus. Vol. 8. pp. 5-9.
- Brecht J. K.** 1998. Fresh cut sweet corn kernels. Citrus and Vegetable Magazine. Vol. 63(7), p. 36-37.
- Feibert E., Shock C., Willison G., Saunders M.** 1997. Evaluations of supersweet corn and sweet corn varieties [online]. [dostęp 10.08.2010]. Dostępny w Internecie <http://www.cropinfo.net/AnnualReports/1997/varieties.corn.html>.
- Fritz V. A., Randall G. W., Rosen C. J.** 2001. Characterization and utilization of nitrogen contained in sweet corn silage waste. Agronomy Journal. Vol. 93. pp. 627-633.
- Grochowicz J.** 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWTiL. Warszawa. ISBN 83-09-01656-5.
- Hang Y. D., Woodams E. E.** 2001. Enzymatic production of reducing sugars from corn cobs. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie. Vol. 34. pp. 140-142.
- Kaliyan N., Morey R. V.** 2010. Densification characteristics of corn cobs. Fuel Processing Technology. Vol. 91. pp. 559-565.
- Love J. M.** 1990. The U.S. processing sweet corn industry. Vegetables and Specialties-Situation and Outlook. Vol. 251, pp. 20-22.
- Molendowski F.** 2001. Ocena zmienności jednostkowego oporu cięcia rdzeni kolb kukurydzy. Inżynieria Rolnicza. Nr 12. s. 209-214.

- Myers D., Underwood J.** 1992. Harvesting Corn Residue. Agronomy Fact Sheet 00392. [online]. [dostęp 10.08.2010]. Dostępny w Internecie <http://ag.ohiostate.edu/~ohioline/agf-fact/0003.html>.
- Opielak M., Komsta H.** 2001. Badania wpływu wilgotności ziarna pszenicy na wydajność rozdrabniania żarnowego i stopień rozdrobnienia materiału. *Inżynieria Rolnicza*. Nr. 9. s. 187-192.
- Pordesimo L. O., Hames B. R., Sokhansanj S., Edens W. C.** 2005. Variation in corn stover composition and energy content with crop maturity. *Biomass Bioenergy*. Vol. 28. pp. 366-374.
- Soltes E. J.** 1983. Thermo-chemical routes to chemicals, fuels, and energy from forestry and agricultural residues. Edited by Cote W. A. , *Biomass Utilization*, Plenum Press, New York. pp 23-47.
- Vaughan T., Seo Ch. W., Marshall W. E.** 2001. Removal of selected metal ions from aqueous solution using modified corncobs. *Bioresource Technology*. Vol. 78. pp. 133-139.
- Waligóra H.** 2004. Kukurydza jadalna - znaczenie gospodarcze i rola w żywieniu człowieka. *Forum producentów roślin zbożowych, kukurydzy i rzepaku, Polagra-Farm* s. 12-17.
- Warzecha R.** 2003. Słodki smak kukurydzy. *Owoce, Warzywa, Kwiaty*. Nr 6, s. 20-21.
- Zawiślak K.** 1997. Technika rozdrabniania a wymagania jakościowe stawiane produktom. *Pasze przemysłowe*. Nr 6/7. s. 22-27.
- Zdrojewski Z., Peroń S.** 2002. Charakterystyka energetyczna osadek kukurydzy – wpływ struktury próbek na pomiar ciepła spalania. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 5. s. 509-517.

ENERGY CONSUMPTION OF GRINDING PROCESS OF SWEETCORN COBS STEMS

Abstract. The study presents the research concerning determination of specific energy consumption of grinding process of sweetcorn cobs stems in a beater grinder depending on three diameters of sieve meshes and on three varieties (Shaker, Boston and Garrison). The highest values of specific energy consumption of grinding occurred for Shaker variety and the lowest for Garrison variety. Simultaneously with increasing diameter of sieve meshes, decrease of specific energy consumption of grinding occurred for the tested varieties at average 33%.

Key words: corn, energy consumption, grinding

Adres do korespondencji:

Mariusz Szymanek; e-mail: mariusz.szymanek@up.lublin.pl
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Poniatowskiego 1
20-060 Lublin