

WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW EKSTRUZJI MIESZANEK KUKURYDZIANYCH NA ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU

Adam Ekielski, Zbigniew Majewski, Tomasz Żelaziński

Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy przedstawiono badania wpływu parametrów ekstruzji: udziału gryki w mieszance kukurydzianej, ciśnienia w komorze ekstrudera oraz współczynnika ekspansji ekstrudatu na energochłonność procesu ekstruzji. Stwierdzono, że wszystkie badane zmienne mają istotny wpływ na energochłonność procesu, która zmniejsza się ze zwiększeniem udziału gryki w mieszance, przy jednoczesnym wzroście współczynnika ekspansji. Może to świadczyć o mniejszym zapotrzebowaniu energetycznym procesu ekstruzji gryki niż kukurydzy. Uzyskane wstępne wyniki wymagają potwierdzenia w dalszych badaniach.

Słowa kluczowe: ekstruzja, energochłonność, ekspansja, ciśnienie

WSTĘP

Ekstruzja jest nowoczesnym procesem umożliwiającym uzyskanie nowych produktów spożywczych z tradycyjnych surowców. Produkty otrzymywane w wyniku ekstruzji charakteryzują się wieloma zaletami, takimi jak trwałość, wysoka czystość mikrobiologiczna, a więc nie ma konieczności stosowania dodatków konserwujących, porowatość i wodochłonność, stosunkowo wysoki współczynnik strawności [Sensoy i in. 2005, Billier 2005, Ekielski i in. 2006]. W procesie ekstruzji można przerabiać wiele różnych rodzajów surowców, których obróbka w innych procesach byłaby czasochłonna i energochłonna (np. gotowanie). Do surowców tych należą np. orzeszki ziemne czy cassava, a w Polsce gryka i siemię lniane. Surowce te wciąż nie są doceniane w Polsce i są rzadko wykorzystywane w produkcji ekstrudatów. Mogą one stanowić dodatki do surowców podstawowych przerabianych podczas ekstruzji. Grykę na przykład można dodawać do kukurydzy, uzyskując produkt o wielu cennych właściwościach [Edwardson 1996, Rayas-Duarte i in. 1998, Kostecki 2005, Ekielski i in. 2006]. Jest ona uważana za bardzo cenny dodatek z powodu zawartości rutyny, związku będącego silnym antyoksydantem, zawiera także cholinę (wodorotlenek trimetyloaminoetanolu), która jest zalecana w diecie. Ponadto gryka jest produktem bezglutenowym, co zwiększa ubogi asortyment produktów przeznaczonych dla osób cierpiących na celiakię [Steadman i in. 2001, Kraskowa i Mrazova 2004].

CEL BADAŃ

Celem pracy było zbadanie wpływu parametrów ekstruzji: składu mieszanki, ciśnienia w komorze ekstrudera oraz współczynnika ekspansji na energochłonność procesu.

METODYKA

Ekstrudowanym surowcem była mieszanka śruty kukurydzianej i gryczanej o różnej procentowej zawartości składników: 100% kukurydzy oraz 15, 30, 45, 60, 75 i 100% gryki o dwóch wilgotnościach 12 i 15%.

Do badań zastosowano jednoślimakowy ekstruder KZM-2 o mocy silnika 22 kW, prędkości obrotowej ślimaka $n = 200$ obr/min i stosunku długości do średnicy ślimaka $L/D = 6:1$ oraz średnicy otworu wylotowego matrycy 12 mm. Ekstruder był wyposażony w grzałki oporowe o mocy 3000 W, pozwalające na utrzymanie stałej temperatury procesu wynoszącej ok. 120°C. Ciśnienie mierzono przetwornikiem ciśnienia PTA 100 firmy Peltron o zakresie pomiarowym 0–10 MPa i dokładności $\Delta = 0,5\%$.

Natężenie prądu mierzono za pomocą cęgów pomiarowych Z210A o zakresie pomiarowym 0–40 A i dokładności $\Delta = 1\%$.

Moc pobieraną przez silnik ekstrudera obliczano ze znanego wzoru:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (1)$$

gdzie:

U – napięcie zasilania, V,

I – natężenie prądu, A.

Jednostkowe zużycie energii wyznaczano za pomocą wzoru:

$$E_j = \frac{P}{Q} \quad (2)$$

gdzie:

E_j – jednostkowe zużycie energii, kWh/kg,

Q – natężenie przepływu surowca, kg/h.

Natężenie przepływu surowca mierzono ważąc uzyskane w określonym czasie próbki na wadze tensometrycznej.

Czujnik ciśnienia był umieszczony w głowicy ekstrudera, a cęgi prądowe w skrzynce rozdzielczej ekstrudera. Elementy pomiarowe połączono z komputerem za pośrednictwem specjalistycznej karty pomiarowej firmy National Instruments typu 6024E.

Dane otrzymywane z czujników były rejestrowane w 1-sekundowych odstępach za pośrednictwem programu do akwizycji danych, zaprojektowanego specjalnie dla potrzeb badań w programie LabView 7.1. Tak skonfigurowany układ pomiarowy gwarantował ciągłą rejestrację zmian mierzonych wielkości podczas trwania procesu ekstruzji.

Współczynnik ekspansji obliczano metodą wypornościową [Alvarez-Martinez, 1988, Ekielski i Osiak 2003].

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy użyciu analizy wariancji ANOVA pakietu Statistica, przedstawiając szereg wyników w postaci powierzchni odpowiedzi:

$$E_j = f(W, K), E_j = f(E, K), E_j = f(P, K) \quad (3)$$

gdzie:

K – udział gryki, %,
 W – wilgotność surowca, %,
 E – współczynnik ekspansji,
 P – ciśnienie, MPa.

WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzona analiza statystyczna miała na celu zbadanie wpływu poszczególnych czynników, tj.: udziału gryki w mieszance, wilgotności surowca, współczynnika ekspansji oraz ciśnienia, na rozpatrywany parametr. Postawiono hipotezę zerową H_0 , że energochłonność procesu nie zależy od zmienianego czynnika, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Hipoteza alternatywna H_1 jest zaprzeczeniem hipotezy zerowej H_0 .

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że udział gryki, wilgotność, współczynnik ekspansji i ciśnienie wpływały istotnie na energochłonność procesu ekstruzji. We wszystkich tych przypadkach poziom istotności był mniejszy od deklarowanego $\alpha = 0,05$.

Tabela 1. Wpływ wilgotności surowca i udziału gryki na energochłonność procesu
 Table 1. Effect of raw material content and buckwheat content on process energy consumption

Czynnik	SS	df	MS	F	p
Wilgotność, %	0,013194	1	0,013194	98,9790	0,000000 ^a
Udział gryki, %	0,020607	1	0,020607	154,5849	0,000000 ^a
1 wz. 2	0,004891	1	0,004891	36,6904	0,000000 ^a
Błąd	0,018130	136	0,000133		

Tabela 2. Wpływ współczynnika ekspansji i udziału gryki na energochłonność procesu
 Table 2. Effect of expansion ratio and buckwheat content on process energy consumption

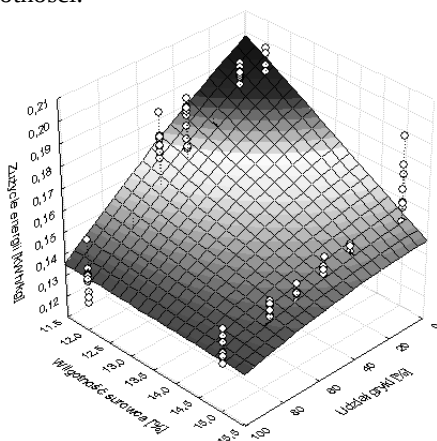
Czynnik	SS	df	MS	F	p
Udział gryki, %	0,004674	1	0,004674	35,26760	0,000000 ^a
Ekspansja	0,015309	1	0,015309	100,5763	0,000000 ^a
1 wz. 2	0,005815	1	0,005815	38,2037	0,000000 ^a
Błąd	0,020701	136	0,000152		

Tabela 3. Wpływ ciśnienia w komorze ekstrudera i udziału gryki na energochłonność procesu
Table 3. Effect of pressure in extruder's chamber and buckwheat content on process energy consumption

Czynnik	SS	df	MS	F	p
Udział gryki, %	0,008782	1	0,008782	118,7849	0,000000 ^a
Ciśnienie, MPa	0,022785	1	0,022785	308,2047	0,000000 ^a
1 wz. 2	0,001730	1	0,001730	23,3946	0,000004 ^a
Błąd	0,010054	136	0,000074		

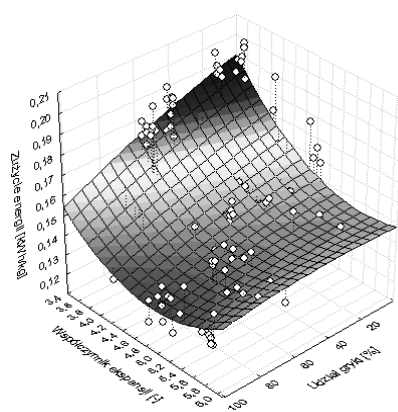
^a Różnica istotna przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$

Wyniki badań przedstawiono graficznie w postaci dopasowania powierzchni odpowiedzi na rysunkach 1, 2 i 3. Rysunek 1 przedstawia wyniki pomiarów zużycia energii elektrycznej podczas ekstruzji mieszanek kukurydziano-gryczanych o dwóch wilgotnościach 12 i 15%. Najwyższe zużycie energii elektrycznej (0,19 kWh/kg) zanotowano podczas ekstruzji mieszanek z 0% dodatkiem śruty gryczanej o wilgotności 12%. Zwiększenie wilgotności surowca do 15% pozwoliło na obniżenie nakładów energetycznych nawet o 35% w przypadku ekstruzji samej kukurydzy. Mniej znaczący spadek energochłonności stwierdzono dla mieszanek o większym udziale gryki. Przy 100% udziale gryki energochłonność procesu obniżyła się o około 5%. Tak duża różnica w zapotrzebowaniu energii może wynikać najprawdopodobniej z odmiennej charakterystyki materiału poddawanego ekstruzji, a zwłaszcza wyższej zawartości białka oraz wyższej wodochłonności, co może mieć wpływ na proces ekstruzji w warunkach zwiększonej wilgotności.



Rys. 1. Wpływ wilgotności surowca na zużycie energii podczas ekstruzji mieszanek kukurydziano-gryczanych

Fig. 1. Effect of raw material moisture content on energy consumption in extrusion of maize-buckwheat mixtures



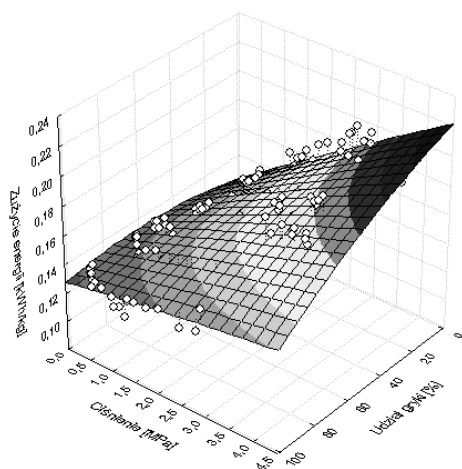
Rys. 2. Wpływ współczynnika ekspansji na zużycie energii podczas ekstruzji mieszanek kukurydziano-gryczanych

Fig. 2. Effect of expansion ratio on energy consumption in extrusion of maize-buckwheat mixtures

Ponadto, przy wyższej zawartości gryki zauważono niewielki przepływ wsteczny spowodowany przypuszczalnie zmiennymi wartościami tarcia wewnątrz ekstrudera. Z przedstawionego wykresu wynika zatem, że wzrost wilgotności może przyczynić się do zmniejszenia jednostkowego zużycia energii. Takie zjawisko stwierdzono również w badaniach przeprowadzonych przez Akdogana [1999]. Spadek energochłonności jest wolniejszy w przypadku mieszanek o wyższym udziale gryki. Powodem tego może być zmniejszona wydajnością ekstrudera, wynikająca z niskiej wartości współczynnika tarcia gryki o ścianki tulei. W związku z tym, uplastycznienie mieszanki poprzez dodanie wody nie powoduje znaczącej zmiany tego współczynnika.

Analizując wyniki badań zużycia energii w zależności od współczynnika ekspansji uzyskiwanych produktów można stwierdzić, że parametr ten istotnie wpływał na energochłonność procesu ekstruzji. Najwyższą energochłonność procesu (0,19 kWh/kg) obserwowano podczas ekstruzji czystej kukurydzy, gdy współczynnik ekspansji wynosił 3,4. Wzrost współczynnika ekspansji do wartości 4,5 powodował zmniejszenie zużycia energii nawet do 0,14 kWh/h, jednak po przekroczeniu tej wartości energochłonność ponownie zaczynała wzrastać.

Wyniki badań wskazują na spadek zużycia energii mieszanek ze zwiększającym się udziałem gryki, przy jednoczesnym wzroście współczynnika ekspansji, co może świadczyć o dużo mniejszym zapotrzebowaniu energetycznym ekstruzji gryki niż w przypadku kukurydzy.



Rys. 3. Wpływ ciśnienia w komorze ekstrudera na zużycie energii podczas ekstruzji mieszanek kukurydziano-gryczanych

Fig. 3. Effect of pressure in extruder's chamber on energy consumption in extrusion of maize-buckwheat mixtu

Stwierdzono, że wzrost ciśnienia, podobnie jak w przypadku współczynnika ekspansji, jest ściśle związany ze zużyciem energii (rys. 3). W każdej z przeprowadzonych prób wzrost ciśnienia powodował wzrost energochłonności procesu. Jak wiadomo, ciśnienie procesu ekstruzji jest niezbędne do prawidłowej pracy ekstrudera, należy jednak zaznaczyć, że zbyt duży nagły wzrost ciśnienia prowadzi często do niekontrolowanego wzrostu temperatury, czego skutkiem jest zablokowanie ekstrudera.

Reasumując, wstępne badania energochłonności procesu ekstruzji mieszanek kukurydziano-gryczanych wskazują, że najniższą energochłonnością procesu charakteryzowała się ekstruzja mieszanek ze 100% udziałem gryki. Wydaje się celowe przeprowadzenie bardziej szczegółowych badań energetycznych mieszanek z udziałem gryki w warunkach wyższej wilgotności oraz przy zmiennych parametrach ekstruzji, tj. temperatury procesu, geometrii elementów roboczych ekstrudera.

WNIOSKI

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że spośród badanych mieszanek najmniejszego nakładu energetycznego wymaga ekstruzja samej gryki. W porównaniu z ekstruzją kukurydzy, nakłady energetyczne były w tym przypadku mniejsze nawet o 35%, przy najwyższym współczynniku ekspansji wynoszącym 5,5.

Zwiększenie wilgotności surowca do 15% powodowało wzrost współczynnika ekspansji i obniżenie energochłonności procesu, szczególnie podczas ekstruzji kukurydzy. W przypadku gryki energochłonność pozostawała praktycznie na tym samym poziomie, co może świadczyć o niskiej wartości współczynnika tarcia gryki o ścianki tulei ekstrudera.

Powyżej wartości współczynnika ekspansji 4,5 zauważono powolny wzrost energochłonności procesu ekstruzji.

PIŚMIENNICTWO

- Akdogan H., 1999: High moisture food extrusion. *Intern. J. Food Sci. Techn.* 34.
- Alvarez-Martinez, L., Kondury K. P., Harper, J. M. 1988: A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53.
- Biller E. 2005: *Technologia żywności wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo SGGW Warszawa.
- Edwardson, S. 1996: Buckwheat: Pseudocereal and nutraceutical. [In]: J. Janick (ed.), *Progress in new crops*. ASHS Press, Alexandria, VA
- Ekielski A., Majewski Z., Żelaziński T. 2005: Wstępne wyniki badań ekstruzji surowców o wysokiej wilgotności na przykładzie kaszki kukurydzianej. *Inż. Roln.* 9(69).
- Ekielski A., Majewski Z., Żelaziński T., 2006: Wpływ dodatku gryki na własności ekstrudatu kukurydzianego. *Inż. Roln.* 7(82).
- Ekielski A., Osiak J. 2003: Wpływ stopnia zużycia elementów ekstrudera na wybrane parametry ekstruzji. *Inż. Roln.* 7(49).
- Kostecki Z., 2005: Przetwórstwo ziarna gryki. *Prz. Zboż.-Młyn.*, 4.
- Kraskova B., Mrazova Z. 2004: Prophylactic components of buckwheat. *Food Res. Intern.* 38.
- Sensoy I, Robert T. Rosen, Chi-Tang Ho, Mukund V. Karwe 2005: Effect of processing on buckwheat phenolics and antioxidant activity. *Food Chem.* 99.
- Steadman K. J., Burgoon M. S., B. A. Lewist, Edwardson S. E., Obendorf R. L., 2001: Buckwheat seed milling fractions: description, macronutrient composition and dietary fibre. *J. Cereal Sci.* 33.
- Rayas-Duarte P., Majewska K., Doetkott C., 1998: Effect of extrusion process parameters on the quality of buckwheat flour mixes. *Cereal Chem.* 75(3).

EFFECT OF SELECTED PARAMETERS OF MAIZE MIXTURES EXTRUSION ON PROCESS ENERGY CONSUMPTION

Summary. There are presented investigations on the effect of extrusion parameters: buckwheat content in maize mixtures, pressure in extruder's chamber and extrudate expansion ratio on energy consumption of extrusion process. It was found that all investigated variables significantly influenced the process energy consumption, which decreased with an increase in buckwheat content, with simultaneous increase in expansion ratio value. This may point out at lower energy requirement for extrusion of buckwheat, when compared to maize extrusion. The obtained preliminary results need to be confirmed in further investigations.

Key words: extrusion, energy consumption, expansion ratio, pressure