

Adam Ekielski, Zbigniew Majewski, Tomasz Żelaziński  
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## **Wpływ jednostkowego natężenia przepływu surowca na wskaźniki jakościowe ekstrudatu z mieszanek pszenno-kukurydzianych**

### **Streszczenie:**

Celem podjętych badań było określenie, w jakim stopniu zmiana natężenia jednostkowego przepływu surowca oraz skład mączki poddawanej ekstruzji mają wpływ na mierzone wartości wielkości określających stopień ekspansji produktu, parametry wytrzymałościowe oraz stopień żelatynizacji skrobi.

Zakres pracy obejmował pomiary: gęstości ekstrudatu, stopnia ekspansji oraz granicznego naprężenia ścinającego otrzymywanych produktów, jednostkowego zużycia energii elektrycznej i rozpuszczalności.

Materiałem wejściowym do badań była śruta kukurydziano-pszenna. Badania przeprowadzono dla dwóch wilgotności materiału wejściowego  $w_1=15\%$  i  $w_2=25\%$ . Zaobserwowano statystycznie istotną zależność pomiędzy zawartością pszenicy, a właściwościami mechanicznymi otrzymywanego ekstrudatu. Dotyczyło to szczególnie wyników otrzymanych przy wilgotności surowca wynoszącej 15%.

**Słowa kluczowe:** Ekstruder, gęstość ekstrudatu, ekstrudat

### **Wprowadzenie**

Ze względu na swoją funkcjonalność, uniwersalność, wysoką wydajność i sprawność energetyczną, ekstruzja wysokotemperaturowa jest szeroko stosowana w nowoczesnym przemyśle spożywczym. Dobrze znane zastosowania to: płatki śniadaniowe, kaszki dla dzieci, żywność dla zwierząt domowych. Wszystkie te zastosowania mają miejsce przy niskiej lub średniej zawartości wody w surowcu (10-30%), wynikiem czego otrzymywany jest produkt, który na skutek szybkiego odparowania ulega ekspansji podczas opuszczania głowicy.

Od wielu lat na rynku obecne są ekstrudowane produkty wytwarzane w prostych ekstruderach jednoślismakowych, w których otrzymywany produkt charakteryzuje się wysokim współczynnikiem ekspansji (puffed cereals) [Mościcki, 2003]. Wraz ze wzrostem udziału na rynku produktów wytwarzanych za pomocą tej technologii i następującą w związku z tym konkurencją pomiędzy wyrobami pojawiły się produkty wytwarzane z mieszanek zbóż. Wytwarzanie ich pozwala wzbogacić rynek o nowe wyroby. W literaturze [Gomez, Aquilera, 1984, Owusu-Ansah i inni 1984] można znaleźć informacje dotyczące ekstrudatu wytwarzanego z jednorodnego surowca i mieszanek. Jednak ekstruzja mieszanek zbożowych przeprowadzana w ekstruderach autogennych jest dość rzadko spotykana. Dlatego w prezentowanych badaniach podjęto próbę wytworzenia ekstrudatu mieszanek dwóch rodzajów surowców [Śmietana i wsp., 1997].

### **Cel i zakres pracy**

Celem podjętych badań było określenie w jakim stopniu zmiana natężenia jednostkowego przepływu surowca oraz skład mączki poddawanej ekstruzji mają wpływ na mierzone wartości wielkości określających stopień ekspansji produktu, parametry wytrzymałościowe oraz stopień żelatynizacji.

Zakres pracy obejmował pomiary: gęstości ekstrudatu, stopnia ekspansji objętościowej VEI, granicznego naprężenia ścinającego otrzymywanych produktów, jednostkowego zużycia energii elektrycznej E oraz rozpuszczalności jako miary żelatynizacji skrobi.

### **Metodyka**

Obiektem badań był proces ekstruzji śruty kukurydziano-pszennej uzyskanej po przesianiu przez sito o średnicy otworów 2mm. Badania przeprowadzono dla dwóch wilgotności materiału wejściowego  $w_1=15\%$  i  $w_2=25\%$  oraz 6 próbek pomiarowych o różnej zawartości pszenicy 0, 20, 40, 60, 80, 100%, dla każdej zakładanej wilgotności.

Wilgotność próbek określono metodą suszarkową. W badaniach zastosowano zmodyfikowany ekstruder jednoślindakowy KZM – 2 produkcji rosyjskiej o prędkości obrotowej ślimaka  $n=200$  obr./min, stopniu sprężania  $s=1.5$ , stosunku  $L/D = 6.5$  i powierzchni otworów głowicy  $S=150 \text{ mm}^2$ .

Badania przeprowadzono zmieniając natężenie masowe podawanego do ekstrudera materiału w zakresie  $Q \in <1; 3.5>$  kg/min. Zakres zmian przepływu materiału wynikał z przeprowadzonych wstępnych badań określających warunki brzegowe natężenia przepływu. Dolną granicą przedziału była najniższa wartość natężenia przepływu dla określonych warunków pomiarów (geometria ślimaka, kształt otworów głowicy), przy której nie stwierdzono blokowania surowca w ekstruderze, górną granicę przedziału stanowiło ograniczenie energetyczne wynikające z możliwości przeciążenia silnika napędzającego ekstruder. Jednostkowe natężenie przepływu  $Q_j$  obliczano ze wzoru:

$$Q_j = \frac{Q}{S} \cdot 60 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{mm}^2} \right]$$

W trakcie badań natężenie przepływu mierzono ważąc uzyskane w określonym czasie próbki na wadze tensometrycznej. Ze względu na bezwładność cieplną urządzenia mierzono badane parametry po ustabilizowaniu się temperatury głowicy ekstrudera.

Zużycie energii elektrycznej mierzono bocznikiem prądowym o klasie dokładności  $k=1.5$  i woltomierzem o klasie dokładności  $k=2$  połączonymi z urządzeniem rejestrującym uśredniającym o częstotliwości próbkowania  $f=1\text{Hz}$ . Na podstawie uzyskanych wartości obliczano moc pobieraną przez ekstruder.

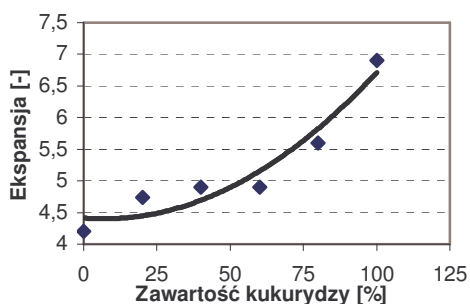
Temperaturę głowicy ekstrudera mierzono w pobliżu otworów wylotowych oporowymi przetwornikami temperatury Pt100. Gęstość ekstrudatu mierzono stosując zmodyfikowaną metodę wypornościową [Pan 1998, Ekielski, Osiak 2003]. Modyfikacja polegała na impregnowaniu w glicerynie zważonej próbki oraz zastąpieniu nasion rzepaku wodą. Do obliczenia stopnia ekspansji objętościowej zastosowano metodę VEI według Alvarez-Martinez [1988]. Wskaźniki rozpuszczalności (WSI) były określone metodą Anderssona [Andersson1969 a, b]. Dla

każdego punktu pomiarowego mierzono 5 próbek pomiarowych ze względnym błędem granicznym równym  $\Delta=1\%$  każdy.

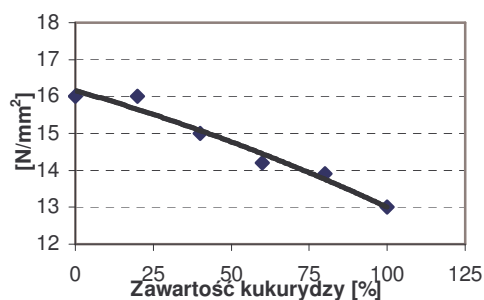
## Wyniki i dyskusja

Poniższe wykresy przedstawiają wpływ dodatku kukurydzy na niektóre mierzone wielkości takie jak: stopień ekspansji, graniczne naprężenia ścinające otrzymywanych produktów, rozpuszczalność produktu oraz jednostkowe zużycie energii elektrycznej. Na wykresach 1 – 4 przedstawiono wyniki badań dla wilgotności materiału 15% zaś na wykresach 5 – 8 dla wilgotności materiału 25 %. Badania przeprowadzono dla wartości  $Q_j$  wynoszącego  $Q_j = 0,7 \text{ kg/h} \cdot \text{mm}^2$ . Zauważono, że wraz ze wzrostem dodatku kukurydzy wzrastała ekspansja objętościowa (rys. 1), w wyniku czego malała wytrzymałość mechaniczna w materiale. Można to zauważyć na rys. 2. Zwiększona zawartość kukurydzy powodowała wzrost rozpuszczalności produktu (rys. 3), która osiągała najwyższą wartość przy dodatku kukurydzy 100 %. Obserwowano także gwałtowny wzrost jednostkowego zużycia energii.

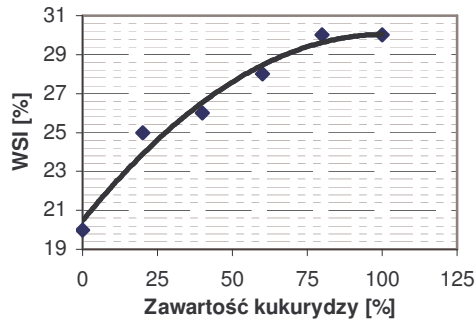
Przy wilgotności produktu 25% malała wartość współczynnika ekspansji, którego najwyższy poziom został zanotowany przy 100% dodatku kukurydzy (rys. 5). Przy tej wilgotności zaobserwowano także istotne obniżenie energochłonności procesu.



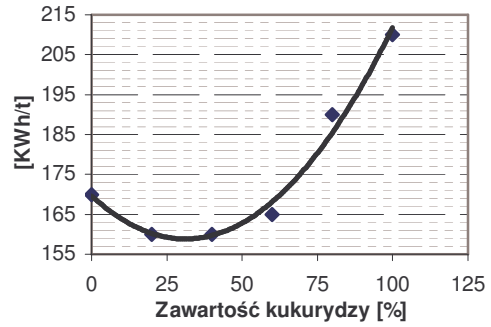
Rys. 1. Wpływ zawartości kukurydzy na wsp. ekspansji objętościowej  
Fig. 1. Influence of maize content on a volumetric expansion coefficient



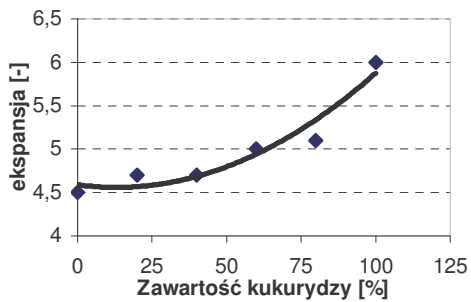
Rys. 2. Wpływ zawartości kukurydzy na stopień naprężeń ścinających  
Fig. 2. Influence of maize content on a degree of shear stresses



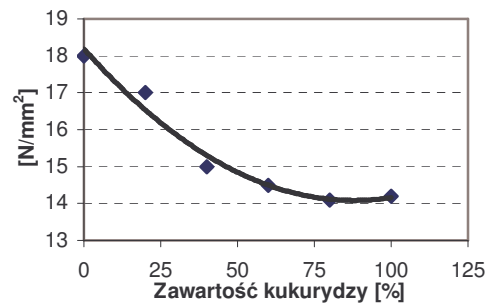
Rys. 3. Wpływ zawartości kukurydzy na rozpuszczalność produktu  
Fig. 3. Influence of maize content on product solubility



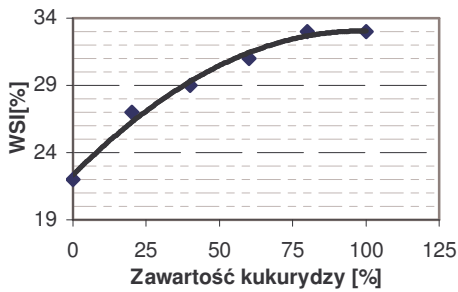
Rys. 4. Wpływ zawartości kukurydzy na jednostkowe zużycie energii  
Fig. 4. Influence of maize content on specific energy consumption



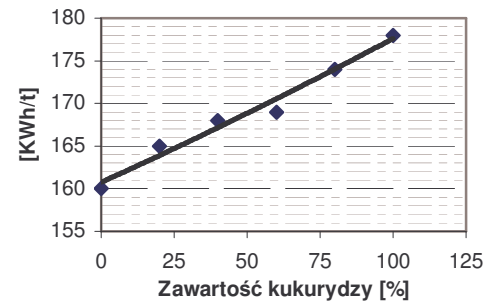
Rys. 5. Wpływ zawartości kukurydzy na współ. ekspansji objętościowej  
Fig. 5. Influence of maize content on a volumetric expansion coefficient



Rys. 6. Wpływ zawartości kukurydzy na wartość naprężenia ścinającego  
Fig. 6. Influence of maize content on a value of shear stresses



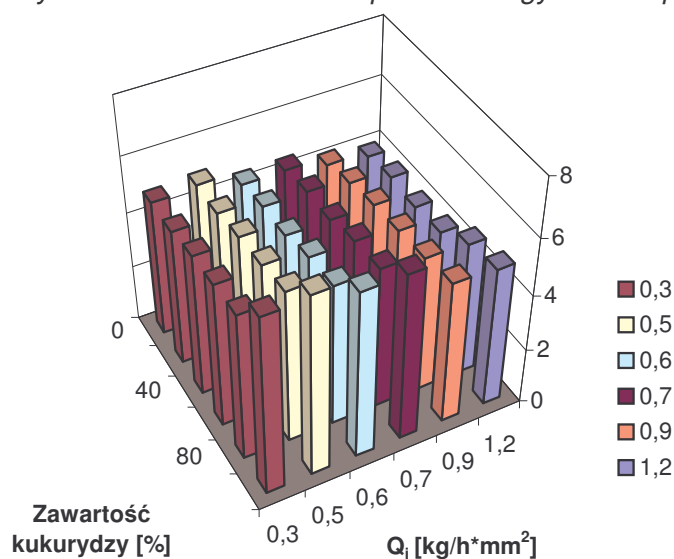
Rys. 7. Wpływ zawartości kukurydzy



Rys. 8. Wpływ zawartości kukurydzy

na rozpuszczalność produktu  
Fig. 7. Influence of maize content on  
product solubility

na jednostkowe zużycie energii  
Fig. 8. Influence of maize content on  
specific energy consumption



Rys. 9. Wpływ zawartości kukurydzy i jednostkowego natężenia przepływu  $Q_j$  na objętościowy współczynnik ekspansji VEI.  
Fig. 9. Influence of maize content and specific flow rate  $Q_j$  on volumetric expansion coefficient VEI.

Wraz ze wzrostem udziału kukurydzy w mieszance wzrastał współczynnik ekspansji VEI. Zmniejszenie jednostkowego natężenia przepływu w przypadku zawartości kukurydzy powyżej 60% również powodowało wzrost ekspansji.

### Wnioski

Wykazano istotny wpływ jednostkowego natężenia przepływu materiału na objętościowy współczynnik ekspansji, który osiągnął najwyższą wartość ( $VEI = 7,5$ ) przy wartości jednostkowego natężenia przepływu  $Q_j = 0,7 \text{ kg/h}\cdot\text{mm}^2$  niezależnie od wilgotności i składu mieszanki.

Niskie wartości parametru VEI otrzymane przy niskich wartościach  $Q_j$  spowodowane były wadliwym formowaniem ekstrudatu wynikającym ze zbyt niskiej szybkości przemieszczania materiału w kanale formującym matrycy (w stosunku do średnicy kanału), uniemożliwiającej uzyskanie odpowiedniej ekspansji oraz lokalnym podniesieniem temperatury powyżej 150°C [Mercier i wsp., 1989] i stwierdzonym w tym przypadku obniżeniem stopnia ekspansji.

Dodatek mąki kukurydzianej w mieszance w każdym przypadku powodował podniesienie wartości VEI od 4,5 (uzyskanego przy 100% udziale pszenicy) do około 7 w przypadku ekstrudatu z 100% udziałem kukurydzy.

### **Literatura**

Alvarez-Martinez, L., Kondury K. P. and Harper, J. M., 1988. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53: 609-615.

Andersson R., Conway H.F., Pfeifer V.F, Griffin E.J. Jr, 1969. Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today*, 14, 372-376.

Ekielski A., Osiak, 2003. Wpływ stopnia zużycia elementów ekstrudera jednoślیمakowego na wybrane parametry ekstruzji. *Inżynieria Rolnicza* 7(49), 39-46.

Gomez M. H., Aquilera J. M., 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *Journal of Food Science* 49, 40-43, 63.

Mercier C., Linko P., Harper J M., 1989; *Extrusion Cooking*; Eds., AACC, St. Paul, MN, pp. 1-16.

Mościcki L., 2003. Ekstrudery jednoślیمakowe; *Przegląd Zbożowo Młynarski*, 5, 13-14.

Owusu-Ansah J., Van De Voort F. R., Stanley D. W., 1984. Textural and microstructural changes in corn starch as functional of extrusion variables. *Journal of Canadian Institute of Food Science and Technology*, 17, 65-70.

Pan Z., Zhang S. and Jane J. 1998. Effects of extrusion variables and chemicals on the properties starch-based binders and processing conditions. *Cereal Chem.* 75. 541-546.

Śmietana Z., Szpendowski J., Soral-Śmietana M., Świgoń J., 1997. Skrobia ziemniaczana ekstruzyjnie modyfikowana. *Przemysł Spożywczy*. 3, 13-15.

### **Influence of the specific row-material flow rates on the quality coefficients of the extrudate from wheat-maize mixtures**

#### **Summary:**

It was the object of this work to determine the effect of changing the specific row-material flow rate and the composition of the flour subjected to extrusion on the measured quantities, which determined the degree of the product expansion, the strength parameters, and the degree of starch gelatinization.

The scope of the work covered the measurements as follows: extrudate density, a degree of expansion, specific power consumption, and solubility.

Test material was wheat-maize meal. Investigations were carried out for two values of humidity of test material  $w_1=15\%$  and  $w_2=25\%$ . A statistically significant relation between the wheat content and the mechanical properties of the obtained extrudate was observed. It was noticeable evident in case of the results obtained at 15% row-material humidity.

**Keywords:** extruder, extrudate density, extrudate