

AGNIESZKA TRELA, LESZEK MOŚCICKI

## WPLYW PROCESU EKSTRUZJI NA WYBRANE CECHY JAKOŚCIOWE PELETÓW ZBOŻOWYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad przebiegiem ekstruzji oraz wybrane właściwości fizycznych peletów zbożowych. Pelety wyprodukowano w laboratorium Katedry Inżynierii Procesowej Akademii Rolniczej w Lublinie na zmodyfikowanym ekstruderze TS-45 firmy Metalchem Gliwice, stosując 7 mieszanek recepturowych oraz zmienne warunki obróbki ciśnieniowo-termicznej. Mieszanki przetwarzano termicznie w temperaturze od 81 do 118°C; energochłonność procesu produkcji wyrażana wskaźnikiem SME wynosiła od 0,1 do 0,71 kWh·kg<sup>-1</sup>. Stwierdzono zależność wydajności produkcji od liczby obrotów ślimaka, receptury i wilgotności użytych mieszanek. Największa wydajność wynosiła 29,28 kg h<sup>-1</sup>.

W zależności od użytej receptury pelety po wysuszeniu miały wilgotność od 5,8 do 10,9%, indeks WAI wynosił od 43 do 96%, zaś odporność na uszkodzenia wahała się od 54,8 do 98%. Największa gęstością usypową, niezależnie od wilgotności mieszanek, charakteryzowały się pelety pszenno-kukurydziane.

**Słowa kluczowe:** pszenica, kukurydza, ryż, pelety, ekstruzja

### Wprowadzenie

Obecnie rynek snacków zdominowany został przez przekąski trzeciej generacji wytwarzane z peletów [18, 20]. Pelety to półprodukty otrzymane w drodze ekstruzji, formowane przy stosunkowo niskim ciśnieniu w celu zapobieżenia ekspansji na wyjściu z ekstrudera, a następnie suszone etapowo do wilgotności około 10% [4, 14, 15, 17, 18]. Po poddaniu obróbce termicznej, jaką jest najczęściej smażenie w głębokim tłuszczu bądź alternatywnie ogrzewaniu w gorącym powietrzu czy też kuchence mikrofalowej pelety stają się gotowymi do spożycia snackami [2, 3, 8, 9, 15, 16].

Zastosowanie ekstruderów do produkcji peletów spowodowało ogromny wzrost popularności wyrobów przekąskowych, same pelety stały się alternatywą dla wyrobów bezpośrednio ekstrudowanych. Niewątpliwie jedną z największych zalet peletów jest możliwość ich długiego przechowywania bez utraty cech jakościowych, pod warun-

kiem odpowiedniego zapakowania w celu utrzymania stabilności ich wilgotności [10, 14]. Oprócz podstawowych składników mieszanki surowcowej (głównie surowców zbożowych oraz ziemniaczanych), istnieje możliwość stosowania w recepturze wielu cennych składników, takich jak: produkty wysokobiałkowe mięsne (świeże krewetki, kurczak), mleczne (ser, jogurt, mleko) oraz strączkowe (soja, groch, fasola). Można je dodawać nawet w ilości do 35% [14]. Niewielki dodatek soli do mieszanki surowcowej pozwala na równomierne rozprowadzenie wody w peletach poddawanych procesowi suszenia po ekstruzji, dodatek proszku do pieczenia nadaje odpowiedni zapach oraz poprawia teksturę produktu gotowego, uzyskiwaną w trakcie smażenia czy też innych sposobów ekspandowania [13].

Jakość peletów oraz gotowych do spożycia snacków zwykle określana jest takimi właściwościami, jak: współczynnik ekspandowania, tekstura, absorpcja oleju, ciężar usypowy, struktura powierzchni, wewnętrzna porowatość, barwa, smak. Parametry te nie mają stałych wartości i w różnych krajach ekstrudat dobrej jakości charakteryzują inne wyznaczniki [11, 13, 20].

Celem podjętych prac było określenie przebiegu procesu produkcji peletów zbożowych metodą ekstruzji, przy zastosowaniu różnych parametrów obróbki ciśnieniowo-termicznej, a następnie zbadanie wybranych właściwości fizycznych tych półproduktów.

### **Material i metody badań**

W badaniach użyto surowców zbożowych, w tym także bezglutenowych, dzięki czemu produkt ostateczny może być przeznaczony także dla osób wymagających odpowiedniej diety. Mąkę ryżową pozyskano od firmy Provita - hurtowni wegetariańskiej z Nadarzyn, mąkę pszenną typu 550 prod. Lubella S.A., mąkę kukurydzianą prod. PZZ Nowa Sól, a sól i proszek do pieczenia zakupiono w handlu detalicznym.

Do badań użyto 7 mieszanek o zróżnicowanym składzie recepturowym oraz o różnej wilgotności: 31, 33 i 35% (tab.1). W trakcie procesu ekstruzji stosowano 3 prędkości obrotowe ślimaka: 60, 80 i 100 obr./min. Proces ekstruzji realizowano w jednoślindakowym ekstruderze TS-45 produkcji Metalchem Gliwice, zmodyfikowanym przez pracowników Katedry Inżynierii Procesowej Akademii Rolniczej w Lublinie (przedłużony układ plastyfikujący).

Podczas ekstruzji wyznaczano wydajność procesu produkcji, zużycie energii (SME) [12] oraz zachowanie temperatury w poszczególnych sekcjach cylindra ekstrudera oraz temperaturę głowicy i temperaturę produktu bezpośrednio po jej opuszczeniu.

Pelety po ekstruzji poddawano kondycjonowaniu przez 24 h, a następnie oznaczano: wilgotność metodą suszarkową [7], gęstość usypową [1], odporność na uszkodzenia w aparacie Pfosta [1, 19, 21] zdolność absorpcji wody [5, 21].

Wyniki, stanowiące wartość średnią z 6 powtórzeń, poddano weryfikacji statystycznej, przeprowadzając analizę istotności różnic ( $\alpha = 0,05$ ).

Tabela 1

Skład mieszanek surowcowych użytych do produkcji peletów [%].  
Composition of mixtures used for pellets production [%].

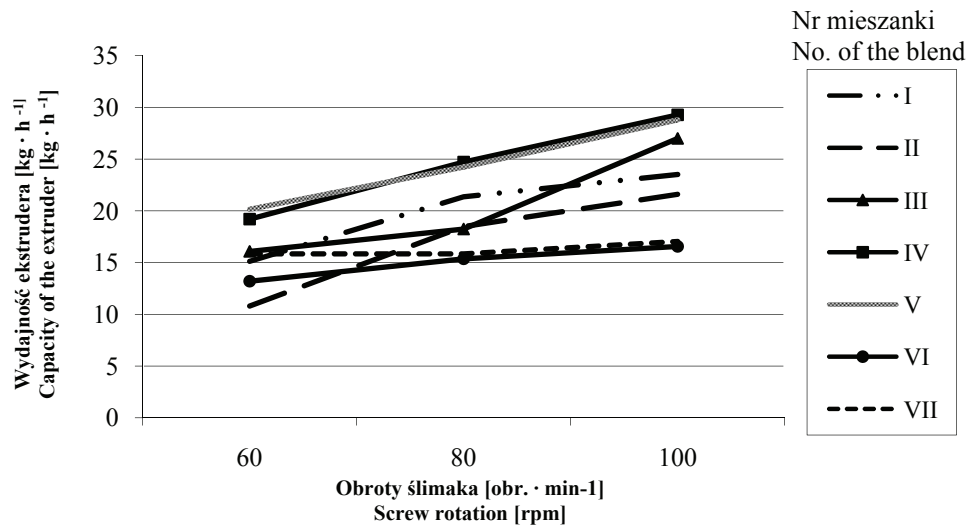
Nr mieszanki No. of the blend	Mąka pszenna Wheat flour	Mąka kukurydziana Corn flour	Mąka ryżowa Rice flour	Sól Salt	Proszek do pieczenia Baking powder
I	67,7	30	-	2	0,5
II	27,5	70	-	2	0,5
III	47,5	50	-	2	0,5
IV	30	-	67,5	2	0,5
V	70	-	27,5	2	0,5
VI	-	30	67,5	2	0,5
VII	-	70	27,5	2	0,5

### Wyniki i dyskusja

Analizując proces ekstruzji peletów zbożowych stwierdzono, że wraz ze wzrostem wilgotności mieszanek surowcowych, pomimo intensywnej pracy układu schładzającego cylinder, temperatura ekstruzji w dwóch strefach cylindra wzrastała, natomiast temperatura produktu nieznacznie obniżała się. Jednak temperatura ekstruzji mieszanek zawierających mąkę ryżową była niższa (81-109°C) niż mieszanek zawierających tylko mąkę pszenną i kukurydzianą (110-118°C). Temperatura produktu na wyjściu z ekstrudera była podobna w przypadku wszystkich mieszanek recepturowych i wynosiła od 90 do 110°C.

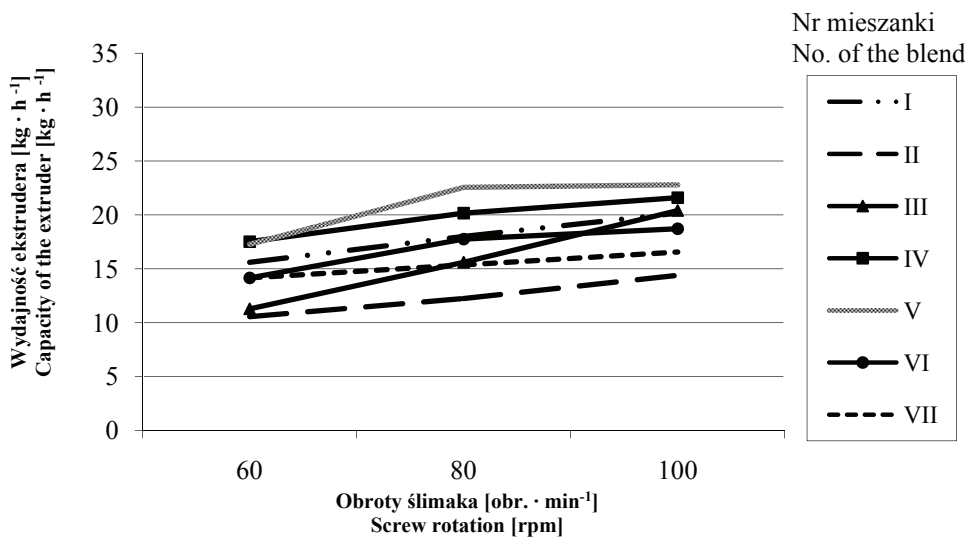
Energochłonność procesu ekstruzji mieszanek, wyrażana wskaźnikiem SME, wynosiła od 0,18 do 0,71 kWh·kg<sup>-1</sup>, a wzrost wilgotności mieszanek recepturowych wpływał nieznacznie na zmniejszenie obciążenia silnika.

Największą wydajność produkcji osiągnięto podczas ekstruzji peletów wytwarzanych z mieszanki IV i V, przy czym nie odnotowano większego wpływu wilgotności mieszanek na tę wydajność. Wydajność produkcji z mieszanek IV i V o wilgotności 35% była bardzo zbliżona do wydajności uzyskiwanej w produkcji peletów z pozostałych mieszanek (rys. 1, 2 i 3).



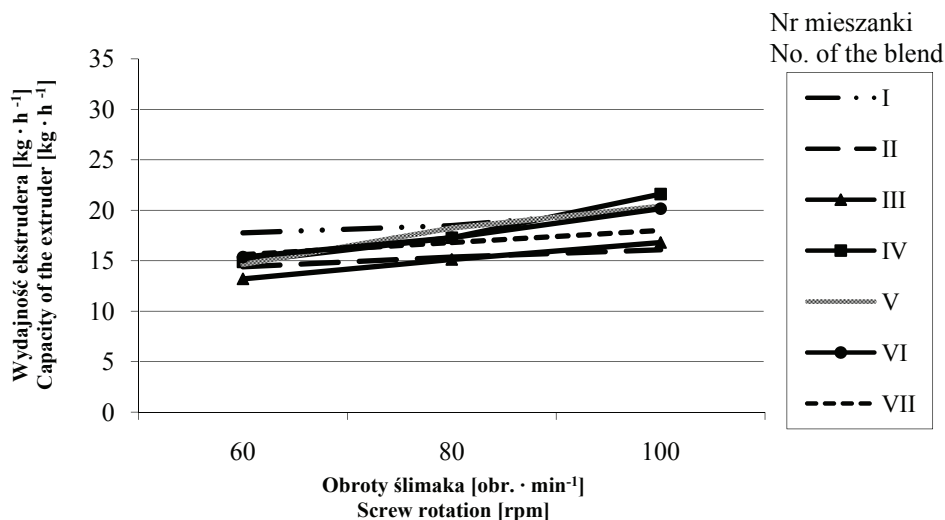
Rys. 1. Wydajność ekstrudera podczas ekstruzji mieszanek o wilgotności początkowej 31%

Fig. 1. Extruder capacity during extrusion of 31% m.c. blends.



Rys. 2. Wydajność ekstrudera podczas ekstruzji mieszanek o wilgotności początkowej 33%.

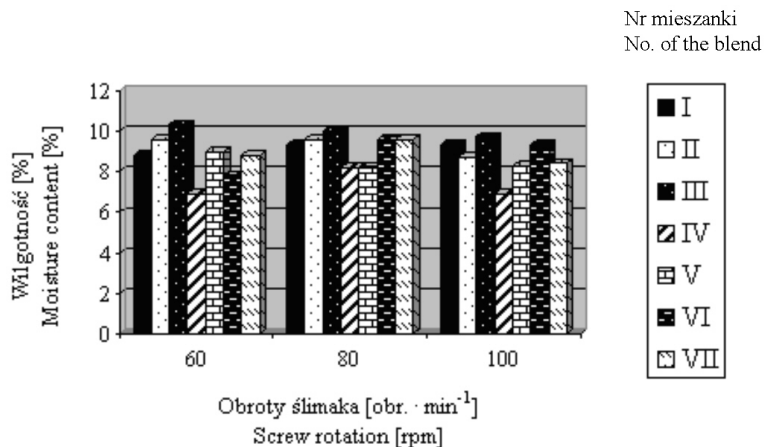
Fig. 2. Extruder capacity during extrusion of 33% m.c. blends.



Rys. 3. Wydajność ekstrudera podczas ekstruzji mieszanek o wilgotności początkowej 35%.

Fig. 3. Extruder capacity during extrusion of 35% m.c. blends.

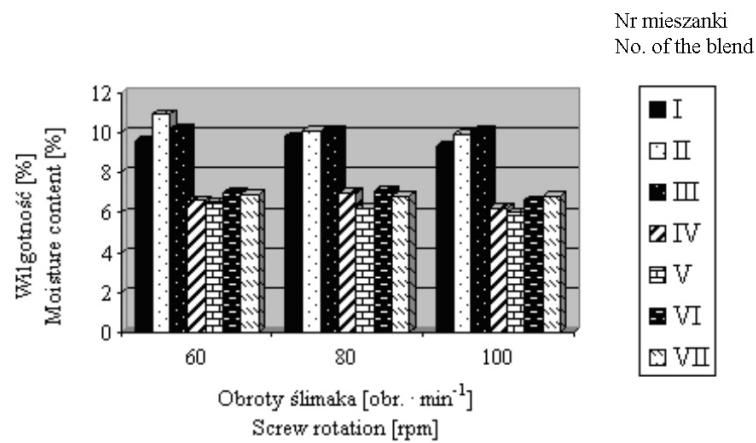
Po kondycjonowaniu pelety odznaczały się zróżnicowaną wilgotnością: od 5,8 do 10,9% w zależności od zastosowanej receptury. Niezależnie od wilgotności początkowej mieszanki surowcowej, pelety zawierające w swym składzie mąkę ryżową charakteryzowały się mniejszą wilgotnością po suszeniu. Mąka kukurydziana oraz pszenna wykazują większą higroskopijność, co wpływało na wzrost nakładów energetycznych



Rys. 4. Wilgotność peletów otrzymanych z mieszanek o wilgotności początkowej 33%.

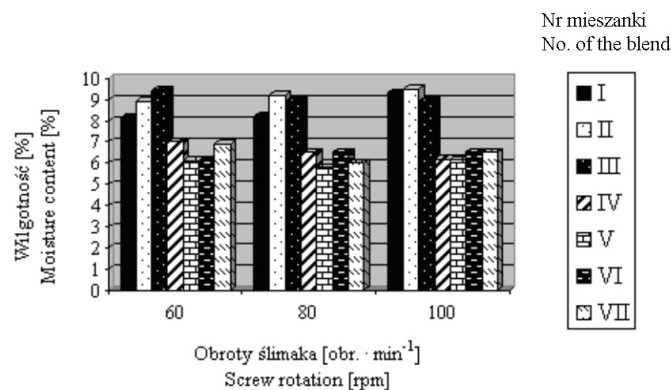
Fig. 4. Moisture content of pellets obtained from 33% m.c. blends.

w czasie suszenia peletów zawierających ww. składniki. Pelety zawierające mąkę ryżową w przypadku mieszanki surowcowej o wilgotności 33 i 35% po wysuszeniu zawierały ok. 6% wody (rys. 4 i 5). Zastosowanie mieszanki surowcowej o niższej wilgotności początkowej wpływało na mniejszy ubytek wilgotności peletów zawierających mąkę ryżową w czasie ich standardowego suszenia; wilgotność wynosiła od 6,9 do 9,6% (rys. 6). Świadczy to jednoznacznie o niedoskonałości samego procesu suszenia, stwierdziliśmy bowiem występowanie zjawiska pochłaniania wilgoci z otoczenia przez higroskopijne ze swej natury pelety. Problem ten jest podnoszony przez wielu badaczy, którzy zwracają uwagę na prawidłowy przebieg procesu suszenia peletów [14, 15, 18, 20].



Rys. 5. Wilgotność peletów otrzymanych z mieszank o wilgotności początkowej 35%.

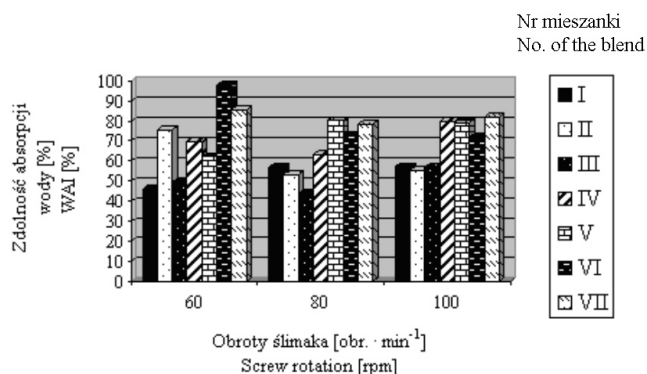
Fig. 5. Moisture content of pellets obtained from 35% m.c. blends.



Rys. 6. Wilgotność peletów otrzymanych z mieszank o wilgotności początkowej 31%.

Fig. 6. Moisture content of pellets obtained from 31% m.c. blends.

Pelety uzyskane z mieszanki o wilgotności początkowej 31% odznaczały się różnorodną zdolnością absorpcji wody. Większą zdolność absorpcji wykazywały pelety, których wilgotność po kondycjonowaniu była mniejsza. W zależności od receptury wynosiła ona od 43 do 96%.

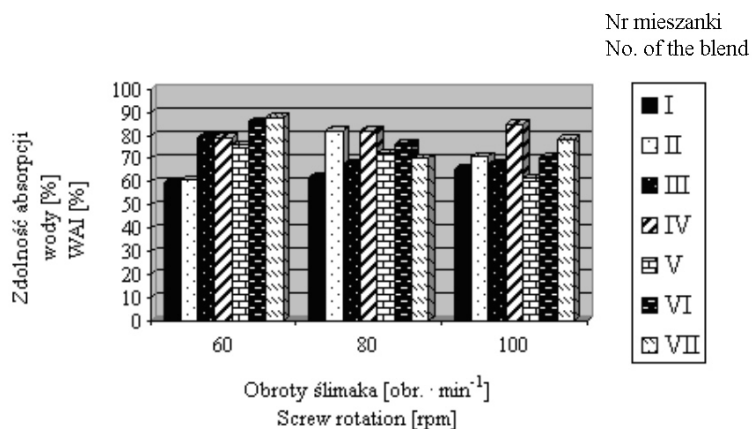


Rys. 7. Zdolność absorpcji wody przez pelety otrzymane z mieszank o wilgotności początkowej 31%.

Fig. 7. Water absorption index of pellets obtained from 31% m.c. blends.

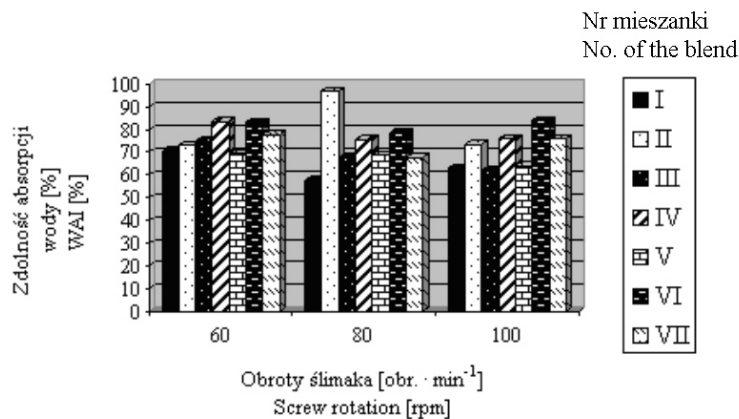
Pelety produkowane z mieszank o wilgotności początkowej 33 i 35% odznaczały się podobną absorpcją wody (rys. 8 i 9). W tych przypadkach różnice wodochłonności pomiędzy peletami zawierającymi w swym składzie mąkę ryżową a pozostałymi nie były już tak widoczne.

W przeciwieństwie do Wójtowicz i wsp. [21], autorzy nie odnotowali wzrostu wodochłonności peletów na skutek zwiększenia prędkości obrotowej ślimaka podczas ekstruzji.



Rys. 8. Zdolność absorpcji wody przez pelety otrzymane z mieszank o wilgotności początkowej 33%.

Fig. 8. Water absorption index of pellets obtained from 33% m.c. blends.



Rys. 9. Zdolność absorpcji wody przez pelety otrzymane z mieszanek o wilgotności początkowej 35%.  
Fig. 9. Water absorption index of pellets obtained from 35% m.c. blends.

Badania odporności na uszkodzenia peletów w aparacie Pfosta wykazały zadawalającą ich wytrzymałość mechaniczną (tab. 2). Podobne rezultaty osiągnęli Wójtowicz i wsp. [21], którzy badając pelety ziemniaczane uzyskali wyniki na poziomie 95–99,5%.

Tabela 2

Odporność na uszkodzenia peletów [%].  
Durability of pellets [%].

Nr mieszanki No. of the blend	Obroty ślimaka [obr. · min <sup>-1</sup> ] Screw rotation [rpm]								
	60			80			100		
	Wilgotność mieszanek [%] Moisture of blend [%]								
	31	33	35	31	33	35	31	33	35
I	91,9	90,3	98	94,8	85,3	90,6	89,8	76,9	91,9
II	89,5	83,3	78,5	80,6	73,6	91,8	69,3	76,3	81,4
III	85,9	83,3	85,1	87	70,6	88,9	85,9	81,8	86,5
IV	80	66,9	67,6	68,6	62,7	72,1	64,8	64	64,1
V	71,3	64,9	64,9	81	71,9	82,8	54,8	71,4	76
VI	78	72,6	74,2	64,9	64,1	63,7	65,7	76,5	72,2
VII	83,8	78,5	78,5	79,5	71,1	71,1	74,1	68,7	68,7

W trakcie niniejszych badań okazało się, że w większości przypadków pelety otrzymywane z mieszanek zawierających mąkę ryżową charakteryzowały się nieznacznie mniejszą odpornością na kruszenie. Przy nowoczesnych metodach pakowania nie powinno to stanowić większego problemu dla producentów. Mniejsza odporność



na uszkodzenia wynika z faktu, że pelety zawierające mąkę ryżową mają delikatniejszą strukturę, wynikającą, zdaniem Huanga [6], z dużej zawartości amylopektyny w ziarnach skrobi ryżowej, odpowiedzialnej za lekkość struktury mąki.

Spośród peletów mających w swym składzie mąkę ryżową największą odporność wykazały te, które zawierały 70% mąki kukurydzianej i były produkowane przy najmniejszych obrotach ślimaka. Zauważono ponadto, że wzrost obrotów ślimaka podczas ekstruzji powodował w większości przypadków zmniejszenie wytrzymałości na uszkodzenia peletów i to niezależnie od ich składu recepturowego. Zmniejszenie odporności na uszkodzenia peletów oraz snacków, na skutek zastosowania wyższej prędkości obrotowej ślimaka podczas procesu produkcji, ma miejsce również w przypadku peletów ziemniaczanych [19].

Niemal we wszystkich przypadkach największą odpornością na uszkodzenia odznaczały się pelety wytorzone z mieszanki I i III, a zatem z przewagą w recepturze mąki pszennej lub przy jej równym udziale z mąką kukurydzianą.

Największą gęstością usypową, niezależnie od wilgotności mieszanek charakteryzowały się pelety pszenno-kukurydziane (tab. 3).

W przypadku mieszanek o wilgotności 31% wzrost obrotów ślimaka w większości przypadków powodował wzrost gęstości usypowej peletów. Mniejsza zawartość w recepturze mąki ryżowej skutkowałą wzrostem gęstości usypowej peletów.

W przypadku mieszanek o wilgotności 31 i 33% największą gęstość usypową wykazywały pelety z przewagą mąki pszennej nad kukurydzianą w recepturze. Przy niemal równym udziale mąki pszennej i kukurydzianej w recepturze wzrost wilgotności mieszanek powodował wzrost gęstości usypowej peletów (mieszanka III).

Tabela 3

Gęstość usypowa peletów [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].  
Bulk density of pellets [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Nr mieszanki No. of the blend	Obroty ślimaka [ $\text{obr.} \cdot \text{min}^{-1}$ ] Screw rotation [rpm]								
	60			80			100		
	Wilgotność mieszanek [%] Moisture of blend [%]								
	31	33	35	31	33	35	31	33	35
I	318,70	274,37	182,25	358,60	284,33	194,61	360,33	307,81	205,54
II	290,61	277,25	280,10	300,67	265,93	264,80	307,78	275,25	262,43
III	283,19	236,82	267,22	327,64	210,73	309,49	366,05	263,41	292,12
IV	216,59	202,45	190,03	218,97	201,81	193,41	222,92	201,04	216,14
V	225,02	224,51	242,71	231,05	234,66	240,83	237,54	265,29	256,71
VI	198,92	187,19	194,33	204,23	203,70	184,53	233,45	213,82	192,19
VII	208,36	215,73	198,27	201,71	214,14	199,41	222,19	226,39	204,92

Planowane jest podjęcie dalszych badań w celu uzyskania odpowiedzi na wiele istotnych pytań, m.in. w jaki sposób proces przetwórczy wpływa na jakość peletów w czasie ich ekspandowania w głębokim tłuszczy czy obróbce w polu elektromagnetycznym.

### **Wnioski**

1. Zastosowanie zmodyfikowanego ekstrudera TS-45 potwierdziło przydatność tego urządzenia do wytwarzania peletów zbożowych; proces ekstruzji przebiegał stabilnie, SME podczas produkcji wahało się od 0,18 do 0,71 kWh·kg<sup>-1</sup> przy zachowaniu względnej stabilności reżimu temperaturowego w granicach dopuszczalnych.
2. Energochłonność procesu ekstruzji peletów zbożowych związana była z wilgotnością mieszanek surowcowych. SME osiągało najwyższe wartości w przypadku mieszanek o wilgotności 35%. Na wielkość SME miał również wpływ rodzaj przetwarzanego surowca. Niezależnie od wilgotności mieszanek, najniższe nakłady energetyczne odnotowano w czasie ekstruzji peletów pszenno-ryżowych. Udział w recepturze mąki kukurydzianej powodował wzrost energochłonności procesu przetwarzania.
3. Wydajność produkcji w zależności od obrotów ślimaka, składu recepturowego i wilgotności użytych mieszanek była zróżnicowana i wynosiła od ok. 11 do ok. 30 kg h<sup>-1</sup>. Zaobserwowano dużą zależność wydajności procesu produkcyjnego od rodzaju przerabianych surowców. Umiejętne połączenie w recepturze mąki pszennej z mąką ryżową wykazuje najlepsze efekty wydajności ekstrudera, co szczególnie ma istotne znaczenie dla producenta.
4. Pelety zawierające mąkę ryżową odznaczały się mniejszą wilgotnością po ekstruzji niż pozostałe (łatwość dehydratacji) oraz były bardziej higroskopijne. Należy to uwzględnić w trakcie ich przechowywania. Pozostałe produkty były mniej podatne na suszenie, przez co wymagały dodatkowych nakładów energetycznych.
5. Odporność na uszkodzenia peletów była bardzo zróżnicowana; kształtowała się na poziomie od 57 do 95% i zależała przede wszystkim od składu surowcowego oraz warunków ekstruzji. Największą kruchością odznaczały się pelety zawierające mąkę ryżową.
6. Gęstość usypowa peletów pszenno-kukurydzianych była wyższa od pozostałych. Zaobserwowano wpływ obrotów ślimaka na gęstość pozorną peletów jedynie w przypadku mieszanek o mniejszej wilgotności.

*Praca była prezentowana podczas XII Ogólnopolskiej Sesji Sekcji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Lublin, 23–24 maja 2007 r.*

### Literatura

- [1] ASAE Standard: ASAE S269.3. Wafers, pellet, and crumbles – definitions and methods for determining density, durability and moisture content.
- [2] Choi I. D., Phillips R. D.: Cellular structure of peanuts-based extruded snack products using scanning electron microscopy. *J. Texture Studies*, 2004, **35**, 353-370.
- [3] Della Valle G., Vergnes B., Colonna P., Patria A.: Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. *J. Food Eng.*, 1997, **31**, 277-296.
- [4] Hardacre A.K., Clark S. M., Riviere S., Monro J. A., Hawkins A. J.: Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *J. Texture Studies*, 2006, **37**, 94-111.
- [5] Harper J.M.: *Extrusion of Foods vol. I i II*. CRC Press, Inc. Floryda USA 1981.
- [6] Huang D.: Selecting an optimum starch for snack development. *Cereal Food World*, 2001, **46**, 6, 237-239.
- [7] Jakubczyk T., Haber T.: *Analiza zbóż i przetworów zbożowych*. Wyd. SGGW – AR., Warszawa 1993.
- [8] Lee E.Y., Lim K., Lim J., Lim S.T.: Effect of gelatinization and moisture content of extruded starch pellets on morphology and physical properties of microwave-expanded products. *Cereal Chem.*, 2000, **77**, 6, 769-773
- [9] Mościcki L., Niżniowska A.: Produkcja pelletów. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 2004, **1**, 36-37.
- [10] Mościcki L.: Technika ekstruzji w przetwórstwie rolno-spożywczym. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 2000, **5**, 2-8.
- [11] Mościcki L.: Wpływ procesu ekstruzji na zmiany właściwości fizycznych surowców roślinnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1987, **321**, 145-153.
- [12] Singh N., Smith C. A.: A comparison of wheat starch, whole meat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *J. Food Eng.*, 1997, **34**, 15-32.
- [13] PN-A-74780:1996. Smażone przekąski ziemniaczane.
- [14] Riaz M. N.: New technological solutions – extrusion process. *Proc. Int. Palm Oil Trade Fair & Seminar*, Kuala Lumpur, Malaysia., 2006.
- [15] Riaz M.N., Lusac W.: Practical experience in processing third generation snacks using twin-screw extruder. *Extrusion Communique*, 1996, **9**, 3, 10-13.
- [16] Sunderland R.: Production of third-generation snacks. *Cereal Foods World*, 1996, **1**, 68.
- [17] Treła A., Mościcki L.: Wpływ obróbki mikrofalowej na stopień ekspandowania pelletów ziemniaczanych. *Mat. III Międzyn. Konf. Nauk. „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”*, Agrolaser, Lublin 2006.
- [18] Treła A., Mościcki L.: Wpływ receptury oraz warunków ekstruzji na zdolność pochłaniania tłuszczu pelletów ziemniaczanych. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 2006, **8**, 29-31.
- [19] Treła A., Mościcki L.: Badania odporności na uszkodzenia wyrobów typu snack aparatem Pfosta. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 2006, **10**, 31-34.
- [20] Virtucio L.: Uwarunkowania procesu ekstruzji przy produkcji pelletów do wyrobu snacków. *Przegl. Zboż. Młyn.*, 1999, **7**, 18-20.
- [21] Wójtowicz A., Dobosz R., Hodara K.: Ocena cech użytkowych pelletów ziemniaczanych. *Inżynieria Rolnicza*, 2001, **10**, 405-410.

## INFLUENCE OF EXTRUSION PROCESS ON SELECTED QUALITY PROPERTIES OF CEREAL PELLETS

### Summary

The results of extrusion-cooking of pellets processed under different conditions and selected physical properties of the extrudates are presented in the paper. Pellets were made in Dept. of Food Process Engineering, Lublin Agriculture University using modified single screw extruder TS-45. During investigations different extrusion-cooking conditions and 7 different blends were used. Process temperature ranged from 81 to 118°C. Specific mechanical energy of the extrusion-cooking was noted in range of from 0.18 to 0.71 kWh·kg<sup>-1</sup>.

Extrusion capacity was depended pro of the screw rotation speed, mixtures composition and moisture content of blends. Max capacity obtained - 29.28 kg/h.

The moisture content of dry pellets varied of the raw materials used and its properties (from 5.8 till 10.9% d.m). The same relation was observed with water absorption index (from 43 till 96%) and pellet's durability (from 54.8 till 98%). The highest bulk density was measured for the corn-wheat pellets, independently of the moisture content applied.

**Key words:** wheat, corn, rice, pellets, extrusion – cooking ☒