

WPŁYW ROZDROBNIENIA EKSTRUDATU NA WSKAŹNIKI WODOCHŁONNOŚCI I ROZPUSZCZALNOŚCI W WODZIE

*Adam Ekielski, Tomasz Żelaziński, Iwona Florczak
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie wpływu czasu rozdrabniania ekstrudatu na jego stopień rozdrobnienia oraz określenie wskaźników wodochłonności WAI i rozpuszczalności w wodzie WSI, jako czynników opisujących każdą otrzymaną frakcję. Do przeprowadzenia badań wykorzystano dwa rodzaje ekstrudatu wytworzonego z jednakowej mieszanki mąki pszennej (udział 60%) i kaszki kukurydzianej (udział 40%). Mieszanki poddano procesowi ekstruzji wykorzystując ekstruder jednoślindakowy oraz ekstruder dwuślindakowy. Wytworzone ekstrudaty rozdrobniono w młynku uniwersalnym w czasie: 8, 10 i 15 sekund. Następnie przeprowadzono separację cząstek na przesiewaczu laboratoryjnym. Stwierdzono, że najdrobniejsza (0,05-0,1mm) i najgrubsza (powyżej 0,5 mm) frakcja ekstrudatu charakteryzowała się największą rozpuszczalnością oraz najmniejszą wodochłonnością. Czas rozdrabniania ekstrudatu istotnie wpływał na zmiany składu granulometrycznego rozdrabnianych ekstrudatów. Nie stwierdzono jednak istotnego wpływu czasu rozdrabniania na zmiany wskaźnika WAI dla tej samej frakcji rozdrobnionego ekstrudatu.

Słowa kluczowe: ekstruzja, stopień rozdrobnienia, WSI, WAI, skrobia

Wprowadzenie

Główną zaletą procesu ekstruzji jest możliwość wytwarzania produktów gotowych do spożycia, których ostateczna forma nadawana jest w matrycy ekstrudera. Do produktów takich można zaliczyć np. galanterię śniadaniową, teksturaty białkowe czy makarony błyskawiczne (Ekielski i in., 2007, Wojtowicz i in., 2010). Są jednak produkty ekstrudowane, które podlegają dodatkowej obróbce mechanicznej w dalszym etapie na linii produkcyjnej np. poprzez ich rozdrabnianie. Do takich produktów można z kolei zaliczyć panierki ekstrudowane czy zagęstniki. Podstawowym wskaźnikiem jakościowym tego typu produktów opisywanym w literaturze naukowej jest najczęściej ich skład granulometryczny, który zależy głównie od rozdrabniacza i klasyfikatora oraz zachowania materiału w każdym

z nich (Galk, 2002; Vogel i Peukert, 2003; Gujral i in. 2001). Niektóre badania wskazują, że w zależności od czasu rozdrabniania tego samego materiału poszczególne frakcje mogą charakteryzować się różnym składem granulometrycznym oraz kształtem (Galk, 2002). Inne badania przeprowadzone na ziarnach sorgo i jęczmienia pokazały, że w zależności od stopnia rozdrobnienia, surowce te może charakteryzować inna rozpuszczalność w wodzie i wodochłonność, co może wskazywać na różny skład chemiczny poszczególnych frakcji (Mahasukhonthachat i in. 2010; Al-Rabadi i in., 2011a, 2011b; 2012). Badania zawartości skrobi w tych surowcach nie wykazały jednak istotnych różnic w poddanych badaniom próbkach. Pomimo ciągłego optymalizowania procesu rozdrabniania, nadal największym problemem jest uzyskiwanie dużej ilości niepożądaných frakcji, które często muszą być powtórnie przerabiane na etapie produkcji.

Biorąc pod uwagę powyższe można stwierdzić, że badania właściwości chemicznych rozdrobnionych surowców są wykonywane na niewielką skalę i dotyczą głównie surowców nieprzetworzonych. W przypadku rozdrobnionych surowców ekstrudowanych badanie jakości obejmuje głównie cechy fizyczne. W literaturze można natomiast znaleźć szereg badań dotyczących wpływu stopnia rozdrobnienia surowca na jakość ekstrudatu (Altan i in., 2009; Carvalho i in., 2010; Garber i in., 1997; Mathew i in., 1999; Onwulata i Konstance, 2006; Zhang i Hosene, 1998). Badania te jednak dotyczą głównie surowców wykorzystywanych w procesie ekstruzji. Brak jest publikacji omawiających procesy kruszenia ekstrudatu. Dlatego ciekawym problemem do rozwiązania jest zbadanie cech poszczególnych frakcji granulometrycznych rozdrobnionego ekstrudatu.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było zbadanie wpływu czasu rozdrabniania ekstrudatu na jego stopień rozdrobnienia oraz określenie wskaźników WAI i WSI, jako czynników opisujących każdą otrzymaną frakcję.

Zakres pracy obejmował:

- rozdrabnianie ekstrudatu,
- badanie stopnia rozdrobnienia,
- badanie wskaźników wodochłonności WAI i rozpuszczalności w wodzie WSI.

W celu uogólnienia wyników, badania przeprowadzono z wykorzystaniem ekstrudatów wytworzonych w ekstruderze jedno- i dwuślimakowym.

Metodyka badań

Do przeprowadzenia badań wykorzystano dwa rodzaje ekstrudatu wytworzonego z jednokowej mieszanki mąki pszennej typ 600 (udział 60%) i kaszki kukurydzianej (udział 40%) o granulacji 250-750 mm (zawartość skrobi 75+/-5%, białko 8,3%, tłuszcz całkowity

0,7%). Ekstrudowana mieszanka była nawilżana do wilgotności 14% w mieszalniku wstęgowym firmy Agrometr Inofama.

Pierwszy z nich został wytworzony we współbieżnym ekstruderze dwuślimakowym o stosunku długości ślimaka do jego średnicy $L_1/D_1=27$ i stopniu sprężania 4,5. Proces ekstruzji prowadzono kontrolując temperaturę dwóch ostatnich sekcji ekstrudera (licząc od matrycy), która wynosiła 120°C. Prędkość obrotowa ślimaków była stała i wynosiła 120 obr·min⁻¹, przy wydajności procesu 120 kg·h⁻¹. Zastosowano matryce wielootworową (4 otwory), o średnicy dysz wylotowych 3mm.

Drugi ekstrudat został wytworzony w ekstruderze jednoślimakowym KZM-2 o stosunku długości ślimaka do jego średnicy $L_2/D_2=6,5$, przy kontrolowanej temperaturze wynoszącej 120-125°C w ostatniej sekcji ekstrudera. Prędkość obrotowa ślimaka ekstrudera wynosiła 170 obr·min⁻¹, przy wydajności 100 kg·h⁻¹. W artykule użyto skrótów charakteryzujących poszczególne ekstrudaty: EM odnosi się do produktu wytworzonego w ekstruderze dwuślimakowym, podczas gdy oznaczenie ED dotyczy ekstrudatu uzyskanego w ekstruderze jednoślimakowym.

Wytworzone ekstrudaty rozdrobniono w młynku uniwersalnym marki BOSCH MKM 6000 wyposażonym w nóż dwuskrzydłowy (moc 180 W, pojemność 75 g), w czasie: 8, 10 i 15 sekund. Następnie przeprowadzono analizę składu granulometrycznego na przesiewaczu laboratoryjnym: LP2E-2e (Multiserv, Polska) wyposażonym w sita o średnicy otworów odpowiednio: 0,5; 0,25; 0,15; 0,1; 0,05 mm. Badania wykonano zgodnie z normą DIN ISO 3310-1 stosując amplitudę drgań $A=6$ mm, częstotliwość drgań $f=2,00$ Hz, w ciągu czasu $t=10$ minut. Frakcje zebrane na sitach oznaczono odpowiednio jako $P_{0,5}$, $P_{0,25}$, $P_{0,15}$, $P_{0,1}$, $P_{0,05}$.

Dla każdej frakcji, wyznaczono wartości wodochłonności WAI (%) i rozpuszczalności WSI (%). Badania przeprowadzono zgodnie z metodyką Andersona i in. (1969).

W tym celu odważano po 2,5 g materiału z uzyskanych frakcji dla każdego z czasu rozdrabniania. Następnie do każdej próbki dodawano po 25 ml wody destylowanej, intensywnie mieszano w szczelnie zamkniętej probówce, tworząc zawiesinę, próbkę odstawiano na 20 minut, intensywnie mieszając w międzyczasie, po czym umieszczano próbki w wirówce laboratoryjnej i odwirowywano próbki przez 10 minut z przyspieszeniem 3000 g (m·s⁻²). Uzyskany nadsącz zlewano z żelu na szalki Petriego i wkładano do suszarki o temperaturze 105°C, w której przebywały przez 12 godzin, do czasu całkowitego odparowania płynu. Po wysuszeniu szalki ważono i wyliczano współczynnik WSI. Uzyskany po odlaniu nadsączu żel ważono i wyliczano współczynnik WAI. Współczynniki WAI i WSI obliczano wg wzorów:

$$WAI = \frac{\text{masa nasączonej próbki}}{\text{masa suchej próbki}} \quad (1)$$

$$WSI (\%) = \frac{\text{masa wysuszonego nadsączu}}{\text{masa suchej próbki}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Do opracowania wyników uzyskanych podczas badań laboratoryjnych wykorzystano program STATISTICA 10. W celu określenia istotności poszczególnych zmiennych zastosowano analizę wariancji ANOVA. Do oceny statystycznej jakości dopasowania równań powierzchni odpowiedzi wykorzystano współczynnik determinacji R^2 oraz błąd średni kwadratowy MSE (ang. Mean Square Error). Uzyskane wyniki pozwoliły na sporządzenie trójwymiarowych wykresów opisanych równaniami regresji gdzie: x (mm) – wymiar frakcji zatrzymanej na sicie o średnicy d (mm); y – czas rozdrabniania (s) ; z – analizowany wskaźnik jakościowy.

Wyniki

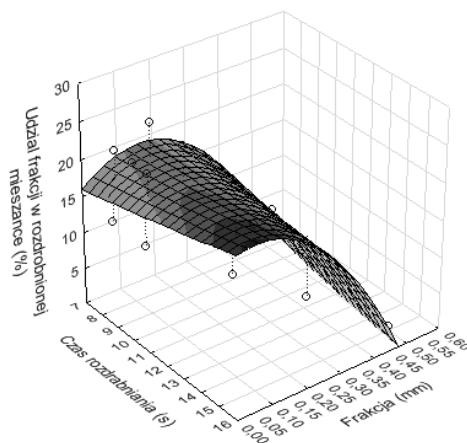
Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że analizowane parametry jakościowe uzyskanych wyrobów, opisywane współczynnikami WAI i WSI zmieniały się zarówno wraz ze stopniem rozdrobnienia ekstrudatu, jak i z czasem jego rozdrabniania. Uzyskane wyniki badań poddano zatem analizie statystycznej w celu określenia istotności wpływu parametrów wejściowych (zmiennych), takich jak: czas rozdrabniania ekstrudatu i rozmiar frakcji uzyskanej z sit na wskaźniki WSI i WAI oraz skład granulometryczny. Wyniki badań empirycznych poddano analizie wariancji ANOVA i przedstawiono w tabeli 1. Analizując wyniki należy zwrócić uwagę, że rozmiar frakcji rozdrobnionego ekstrudatu istotnie się zmieniał zarówno dla ekstrudatu ED i EM, z wyjątkiem oddziaływania pierwszego rzędu dla EM przy parametrze WAI oraz dla ED i EM pierwszego i drugiego rzędu przy parametrze WSI. Czas rozdrabniania miał natomiast istotny wpływ na wskaźnik WAI oraz WSI ekstrudatu oznaczonego jako ED. Pozostałe zmienne okazały się statystycznie nieistotne.

Na wykresach (rys. 1 i 2) przedstawiono wyniki badań składu granulometrycznego rozdrobnionego ekstrudatu w zależności od zastosowanych sit przesiewacza oraz czasu rozdrabniania. Zaobserwowano, że bez względu na czas rozdrabniania, ekstrudaty EM i ED posiadały zbliżony skład granulometryczny. Procentowy udział frakcji drobnych od 0,05 do 0,25 był największy i wynosił średnio około 16-28% zarówno dla ekstrudatu EM, jak i ED. Udział cząstek 0,5 mm wynosił około 8% całości próbki dla ekstrudatu EM i ED. Na analizowanym wykresach (rys. 1 i 2) można zatem zaobserwować tylko niewielkie zmniejszenie się rozmiaru cząstek wraz z wydłużonym czasem rozdrabniania ekstrudatu. Jednak w przypadku produktu wytworzonego w ekstruderze dwuślimakowym (EM) niezależnie od czasu rozdrabniania udziału pyłu (cząstek o średnicy poniżej 0,05 mm) był mniejszy niż w przypadku materiału otrzymanego w wyniku procesu w ekstruderze jednoślimakowym (ED). Może być to związane z bardziej stabilnym przebiegiem procesu zachodzącym w ekstruderze dwuślimakowym i w konsekwencji mniejszym zróżnicowaniem grubości ścianek tworzących pory w ekstrudacie. Powoduje to kruszenie na większe i mniej zróżnicowane cząstki niż w przypadku znacznego zróżnicowania grubości ścianek ekstrudatu.

Tabela 1
Analiza wariancji wpływu wymiaru frakcji i czasu rozdrabniania na wielkości WSI i WAI
 Table 1
Analysis of variance of the effect of grinding time and the fraction size on the WAI and WSI indices

Skład granulometryczny (%) ED R ² = 0,72										Skład granulometryczny (%) EM R ² = 0,65				
	SS	df	MS	F	p	SS	df	MS	F	p				
Frakcja (mm)	665,7900	1	665,7904	27,9377*	0,0001	184,282	1	184,2824	5,2994*	0,0385				
Frakcja ² (mm)	112,5010	1	112,5009	4,7207*	0,0491	625,834	1	625,8342	17,997*	0,0010				
Czas rozdr. (s)	1,6510	1	1,6511	0,0693	0,7972	10,1930	1	10,1929	0,2931	0,5974				
Czas rozdr. ² (s)	0,0233	1	0,0233	0,0010	0,9761	2,74	1	2,7401	0,0788	0,7834				
Błąd	309,8060	13	23,8312			452,064	13	34,7741						
Całk. SS	1095,2800	17				1279,781	17							
WAI (%) ED R ² = 0,93										WAI (%) EM R ² = 0,56				
Frakcja (mm)	10,4874	1	10,4874	205,3744*	0,0001	0,0384	1	0,0384	1,9505	0,1859				
Frakcja ² (mm)	1,2715	1	1,2715	24,8993*	0,0002	0,2367	1	0,2367	12,0256*	0,0042				
Czas rozdr. (s)	0,6260	1	0,6260	12,2579*	0,0039	0,0596	1	0,0596	3,0309	0,1053				
Czas rozdr. ² (s)	0,0642	1	0,0642	1,2572	0,2825	0,0019	1	0,0019	0,0983	0,7589				
Błąd	0,6638	13	0,0511			0,2558	13	0,0197						
Całk. SS	13,1886	17				0,5890	17							
WSI (%) ED R ² = 0,56										WSI (%) EM R ² = 0,33				
Frakcja (mm)	5,2226	1	5,2226	3,3867	0,0887	9,4545	1	9,4545	4,0484*	0,0454				
Frakcja ² (mm)	7,9180	1	7,9180	5,1345*	0,0412	4,1888	1	4,1888	1,7936	0,2034				
Czas rozdr. (s)	9,3515	1	9,3515	6,0641*	0,0285	0,9455	1	0,9455	0,4049	0,5356				
Czas rozdr. ² (s)	0,9591	1	0,9591	0,6220	0,4445	1,0470	1	1,0470	0,4483	0,5149				
Błąd	20,0472	13	1,5421			30,3596	13	2,3354						
Całk. SS	45,5348	17				45,4910	17							

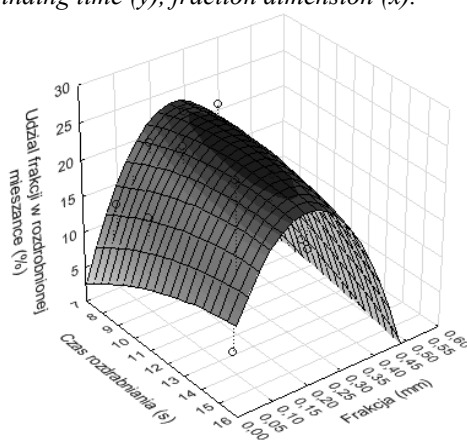
* - Różnica istotna przy poziomie p ≤ 0,05



$$z=12,1919+0,4796 \cdot x+0,00795 \cdot x^2+61,986 \cdot y-123,6054 \cdot y^2-3,0516 \cdot x \cdot y$$

Rysunek 1. Wpływ czasu rozdrabniania i rozmiaru otworów sita na skład granulometryczny rozdrobnionego ekstrudatu ED. Oznaczenia we wzorze: udział frakcji rozdrobnionej (z), czas rozdrabniania (y), wymiar frakcji (x).

Figure 1. Effect of grinding time and the size of sieve meshes on the granulometric composition (%) of the obtained ground ED extrudate. Symbols in the formula: participation of the ground fraction (z), grinding time (y), fraction dimension (x).

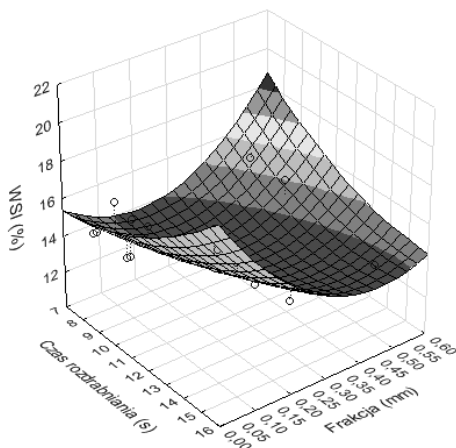


$$z=-14,68+3,0589 \cdot x-0,0853 \cdot x^2+187,7983 \cdot y-291,534 \cdot y^2-4,5941 \cdot x \cdot y$$

Rysunek 2. Wpływ czasu rozdrabniania i rozmiaru otworów sit na skład granulometryczny rozdrobnionego ekstrudatu EM. Oznaczenia we wzorze: udział frakcji rozdrobnionej (z), czas rozdrabniania (y), wymiar frakcji (x).

Figure 2. Effect of grinding time and the size of sieve meshes on the granulometric composition (%) of the obtained ground EM extrudate. Symbols in the formula : participation of the ground fraction (z), grinding time (y), fraction dimension (x).

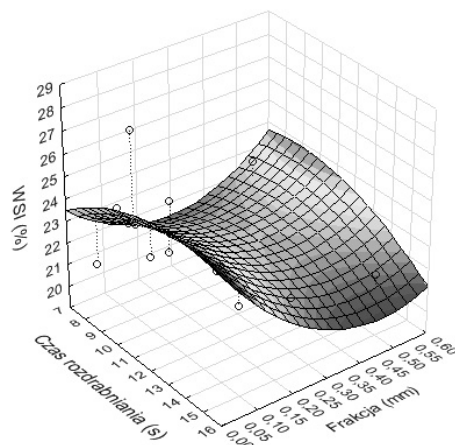
Wpływ zróżnicowania budowy ekstrudatu wyprodukowanego w ekstruderze jednoślismakowym można również analizować obserwując zmiany udziału składników rozpuszczalnych opisanych parametrem WSI w zależności od czasu rozdrabniania i badanej frakcji. Frakcje rozpuszczalne stanowią miękkie wypełnienie nierozpuszczalnej skrobi. Dlatego w ekstrudacie ED (rys. 3) udział składników rozpuszczalnych w najdrobniejszej frakcji jest dużo niższy niż we frakcjach grubych. Jest to spowodowane dużym udziałem niepokruszonych dużych cząstek, które zatrzymują rozpuszczalną skrobię. W przypadku próbki EM (rys. 4) zróżnicowanie jest znacznie mniejsze. Zwiększanie czasu rozdrabniania zmniejszało wartość WSI we frakcji grubej, co może być spowodowane mechanicznym usuwaniem produktów rozpuszczalnych ze szkieletu skrobiowego grubej frakcji. Warto zauważyć, że w obu rodzajach ekstrudatów EM i ED najmniejsze wartości WSI otrzymano dla frakcji ekstrudatu uzyskanych na sicie 0,25 mm. Taki przebieg wykresów może być spowodowany technologicznym oddziaływaniem ostrzy rozdrabniających gdzie w przypadku tego układu rozdrabniania frakcja, której jest najwięcej w masie rozdrobnionych próbek, zawiera najmniej części rozpuszczalnych. Prawdopodobnie wielkość cząsteczek, które są na tyle małe, że szkielet cząstki nie był w stanie zatrzymać tych składników. Stanowią jednocześnie taką wielkość, która nie jest już łatwo rozdrabniania przez mechanizmy robocze młynka.



$$z=17,0102-0,5919 \cdot x+0,0504 \cdot x^2-1,961 \cdot y+32,792 \cdot y^2-1,7401 \cdot x \cdot y$$

Rysunek 3. Wpływ czasu rozdrabniania i rozmiaru oczek sita na wskaźnik WSI (%) uzyskanych frakcji ekstrudatu ED. Oznaczenia we wzorze: WSI (z), czas rozdrabniania (y), wymiar frakcji (x).

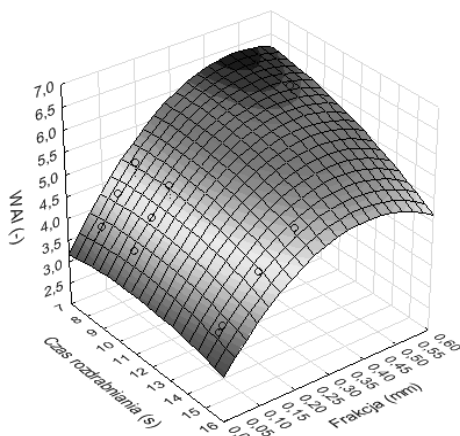
Figure 3. Effect of grinding time and the size of sieve meshes on the WSI index (%) of the obtained ED extrudate fraction. Symbols in the formula : WSI (z), grinding time (y), fraction dimension (x).



$$z=15,9257+1,445 \cdot x-0,0527 \cdot x^2-8,208 \cdot y+23,8508 \cdot y^2-0,8399 \cdot x \cdot y$$

Rysunek 4. Wpływ czasu rozdrabniania i rozmiaru oczek sita na wskaźnik WSI (%) uzyskanych frakcji ekstrudatu EM. Oznaczenia: WSI (z), czas rozdrabniania (y), wymiar frakcji (x)
 Figure 4. Effect of grinding time and the size of sieve meshes on the WSI index (%) of the obtained EM extrudate fraction. Symbols : Wsi (z), grinding time (y), fraction size (x)

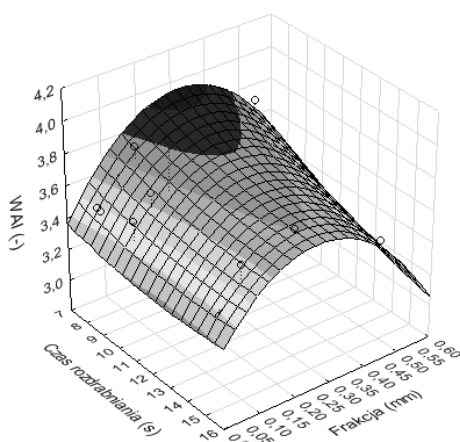
Wpływ czasu rozdrabniania na wodochłonność uzyskanych frakcji uzyskanych w procesie rozdrabniania ekstrudatu przedstawiono na wykresach 5 (dla ED) i 6 (dla EM). Wartości wodochłonności oszacowano za pomocą parametru WAI. Maksymalne wartości wodochłonności niezależnie od technologii wytwarzania (ED czy EM), otrzymano dla średnich frakcji ekstrudatu, podczas gdy najmniejsze wartości zaobserwowano dla drobnych frakcji (0,05 ; 0,015) i nieco więcej dla frakcji grubych (0,25; 0,5). Prawdopodobnie w przypadku drobnych frakcji rozdrobniony ekstrudat zawiera dużo skrobi rozpuszczalnej w wodzie i zdecydowanie mniej skrobi niezżelifikowanej stanowiącej substancję bardziej odporną na rozdrabnianie. W przypadku frakcji grubych stosunkowo niski wskaźnik WAI spowodowany był znacznym udziałem w jej strukturach cząstek rozpuszczalnych w wodzie, które nie uległy wykruszeniu ze szkieletu skrobiowego. W czasie oznaczania WAI są one wymywane, co w konsekwencji obniża wartość tego wskaźnika. Podobnie, jak w przypadku obserwacji parametru WSI występuje pewne zróżnicowanie otrzymanych wartości WAI w zależności od technologii produkcji ekstrudatu. W przypadku wykorzystania do produkcji ekstrudera dwuślimakowego, maksymalne wartości wskaźnika WAI osiągają niższy poziom niż w przypadku ekstrudera jednoślimakowego. Biorąc pod uwagę badania przeprowadzone na urządzeniach opisanych w metodyce punktu widzenia technologii produkcji wypełniaczy skrobiowych, korzystniejsze może być stosowanie do ich produkcji ekstruderów jednoślimakowych pozwalających na uzyskanie produktów zatrzymujących więcej wody w jednostce masy. Warunkiem jednak jest wykorzystanie odpowiedniej wielkości frakcji. W przypadku przeprowadzonych badań jest to frakcja z sita o średnicy otworów 0,5 mm. Jeżeli w procesie produkcyjnym zależy na uzyskaniu jak najwyższej rozpuszczalności skrobi i wartość współczynnika WSI przekracza 23 (rys. 4), proces należy prowadzić w ekstruderach dwuślimakowych, a proces rozdrabniania powinien trwać co najmniej 15 s.



$$z=1,829+0,2825 \cdot x-0,0131 \cdot x^2+14,7854 \cdot y-13,1406 \cdot y^2-0,26171 \cdot x \cdot y$$

Rysunek 5. Wpływ czasu rozdrabniania i rozmiaru oczek sita na wskaźnik WAI (%) uzyskanych frakcji ekstrudatu ED. Oznaczenia: WAI (z), czas rozdrabniania (y), wymiar frakcji (x)

Figure 5. Effect of grinding time and the size of sieve meshes on the WAI index (%) of the obtained ED extrudate fraction. Symbols : WAI (z), grinding time (y), fraction dimension (x)



$$z=3,6638-0,0591 \cdot x+0,0023 \cdot x^2+4,1495 \cdot y-5,6692 \cdot y^2-0,0725 \cdot x \cdot y$$

Rysunek 6. Wpływ czasu rozdrabniania i rozmiaru oczek sita na wskaźnik WAI (%) uzyskanych frakcji ekstrudatu EM. Oznaczenia: WAI (z), czas rozdrabniania (y), wymiar frakcji (x)

Figure 6. Effect of grinding time and the size of sieve meshes on the WAI index (%) of the obtained EM extrudate fraction. Symbols ; WAI (z), grinding time (y), fraction size (x)

Należy zaznaczyć, że powyższe spostrzeżenia opisywane w wynikach badań dotyczą urządzeń wykorzystywanych w badaniach przy konkretnych warunkach wytwarzania produktów.

Wnioski

1. Rozdrobienie ekstrudatu wpływało istotnie na zmiany wskaźników wodochłonności i rozpuszczalności w wodzie.
2. Stwierdzono, że frakcja ekstrudatu najdrobniejsza 0,05 mm i najgrubsza 0,5 mm charakteryzowała się największą rozpuszczalnością oraz najmniejszą wodochłonnością.
3. Czas rozdrabniania ekstrudatu istotnie wpływał na zmiany składu granulometrycznego. Nie stwierdzono jednak istotnego wpływu czasu rozdrabniania na zmiany wskaźnika WAI dla tej samej frakcji rozdrobnionego ekstrudatu.

Literatura

- Al-Rabadi, G.J.; Torley, P.J.; Williams, B.A.; Bryden, W.L.; Gidley, M.J. (2012). Particle size heterogeneity in milled barley and sorghum grains: Effects on physico-chemical properties and starch digestibility. *Journal of Cereal Science*, 56, 396-403.
- Al-Rabadi, G.J.; Torley, P.J.; Williams, B.A.; Bryden, W.L.; Gidley, M.J. (2011)a. Particle size of milled barley and sorghum and physico-chemical properties of grain following extrusion. *Journal of Food Engineering*, 103, 464-472.
- Al-Rabadi, G.J.; Torley, P.J.; Williams, B.A.; Bryden, W.L.; Gidley, M.J. (2011)b. Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technology*, 168, 267-279.
- Altan, A.; McCarthy, K.L.; Maskan, M. (2009). Effect of screw configuration and raw material on some properties of barley extrudates. *Journal of Food Engineering*, 92(4), 377-382.
- Anderson, R.A.; Conway, H.F.; Pfeifer, V.F.; Griffin, E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14(1), 4-12.
- Carvalho, C.W.P.; Takeiti, C.Y.; Onwulata, C.I.; Pordesimo, L.O. (2010). Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: *Effect of particle size on the extrusion of corn meal*. *Journal of Food Engineering*, 98(1), 103-109.
- Ekielski, A.; Majewski, Z.; Żelaziński, T. (2007). Effect of extrusion conditions on physical properties of buckwheat-maize blend extrudate. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57, 2(A), 57-61.
- Galk, J. (2002). Efficient Grinding And Classifying Of Powder Coatings. *Focus on Powder Coatings*, 06, Neuman & Esser GmbH Presented at PCE 2002 In Nuremberg, 15-17 Jan 2002.
- Garber, B.W.; Hsieh, F.; Huff, H.E. (1997). Influence of particle size on the twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry*, 74(5), 656-661.
- Gujral, H.S.; Singh, N.; Singh, B. (2001). Extrusion behaviour of grits from flint and sweet corn. *Food Chemistry*, 74, 303-308.
- Mahasukhonthachat, K.; Sopade, P.A.; Gidley, M.J. (2010). Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *Journal of Cereal Science*, 51, 392-401.
- Mathew, J.M.; Hosney, R.C.; Faubion, J.M. (1999). Effects of corn sample, mill type, and particle size on corn curl and pet food extrudates. *Cereal Chemistry*, 76(5), 621-624.

- Onwulata, C.I.; Konstance, R.P. (2006). Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(4), 475-487.
- Vogel, L.; Peukert, W. (2003). Breakage behaviour of different materials-construction of a mastercurve for the breakage probability. *Powder Technology*, 129, 101-110.
- Wojtowicz A., Mościcki L., Mikrus M., Oniszczyk T. (2010). Wpływ konfiguracji układu plastyfikującego na wybrane cechy ekstrudowanych makaronów pełnoziarnistych. *Inżynieria Rolnicza* 4(122), 291-297.
- Zhang, W.; Hosoney, R.C. (1998). Factors affecting expansion of corn meals with poor and good expansion properties. *Cereal Chemistry*, 75(5), 639-643.
- Norma DIN ISO 3310-1. Test sieves - Technical requirements and testing - Part 1: Test sieves of metal wire cloth (ISO 3310-1:2000).

IMPACT OF FRAGMENTATION OF EXTRUDATE ON THE WATER ABSORPTION AND WATER SOLUBILITY INDICES

Abstract. The objective of the paper was to investigate the fragmentation time of extrudate on its degree of fragmentation and determination of water absorption indices WAI and water solubility WSL as factors describing each obtained fraction. Two types of extrudate produced of one mixture of wheat flour (60% participation) and grits (40% participation) were used for the research. Mixtures were subjected to the process of extrusion with the use of a single-screw extruder and a double-screw extruder. The produced extrudates were ground in the universal mill in: 8, 10 and 15 seconds. Then, fractions were separated on a laboratory sieve. It was found out that the smallest fraction (0.05-0.1 mm) and the biggest fraction (above 0.5 mm) of the extrudate was characterised with the highest solubility and the lowest water absorption. Time of fragmentation of the extrudate influences the changes of the grain size composition of the fragmented extrudates. However, no significant impact of the fragmentation time on the changes of WAI index for the same fraction of the fragmented extrudate was reported.

Key words: extrusion, degree of fragmentation, WSI, WAI, starch

Adres do korespondencji:

Adam Ekielski; e-mail: adam_ekielski@sggw.pl
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa