

**EKSTRUZJA DWUŚLIMAKOWA MIESZANEK
WYSOKOBŁONNIKOWYCH Z UDZIAŁEM RAZÓWKI OWSIANEJ**

Zbigniew Rzedzicki, Piotr Zarzycki

Zakład Inżynierii i Technologii Zbóż, Akademia Rolnicza
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin
e-mail: zbigniew.rzedzicki@ar.lublin.pl

Streszczenie. Przeprowadzono badania nad możliwością zastosowania komponentów wysokobłonnikowych (razówka owsiana, otręby pszenne, okrywa nasienna grochu) w technologii ekstruzji do produkcji ekstrudatów określanych mianem „zbóż śniadaniowych”, m.in. błyskawicznych kaszek, kleików oraz dodatków kształtujących właściwości funkcjonalne żywności. W badaniach wykorzystano ekstruder dwuślimakowy przeciwbieżny stosując profil rozkładu temperatur cylindra 120/150/180/180/130°C, obroty ślimaków 72 obr·min⁻¹, średnicę matrycy 2x5mm oraz wilgotność surowca 14 i 22%. Badano wpływ udziału komponentów wysokobłonnikowych na stopień ekspandowania, gęstość właściwą, WSI (współczynnik rozpuszczalności), WAI (absorpcja wody) oraz lepkość wodnych zawiesin rozdrobnionego ekstrudatu. Zwiększanie udziału komponentów błonnikowych w ekstrudowanych mieszankach powodowało obniżenie stopnia ekspandowania i wzrost gęstości właściwej. Stopień ekspandowania zawierał się w przedziale od 10,55 do 1,58 natomiast gęstość właściwa od 139,04 do 845,28 kg·m⁻³. Nie odnotowano znacznego wpływu komponentów błonnikowych na wartości energii niszczonej potrzebnej do wielopłaszczyznowego przecięcia próbki. Proces ekstruzji prowadził do znacznych zmian WSI i WAI; obserwowano obniżenie zarówno WSI jak i WAI wraz ze zwiększeniem udziału komponentów błonnikowych. Zwiększenie udziału komponentów błonnikowych w mieszankach z 20 do 60% spowodowało obniżenie WSI od 25% s.m. do 7-10% s.m., w zależności od użytych surowców. Lepkość pozorna wodnych zawiesin ekstrudatów zależała od udziału surowców wysokobłonnikowych.

Słowa kluczowe: ekstruzja, owies, otręby pszenne, okrywa nasienna grochu

WTEP

W wielu krajach wysokorozwiniętych wzrost zachorowań na choroby cywilizacyjne (choroby układu krążenia, otyłość, cukrzyca typu II, choroby nowotworowe) osiągnął już rozmiary epidemii. W krajach bogatej Północy choroby układu krążenia i choroby nowotworowe stanowią przyczynę ponad 80% zgonów [12]. Związane jest to z radykalną zmianą nawyków żywieniowych, spożywaniem

żywności o znacznym stopniu oczyszczenia oraz wysokokalorycznej, przy zmniejszonej aktywności fizycznej [2,10].

Wiele badań naukowych wskazuje na profilaktyczną rolę błonnika pokarmowego w walce z chorobami cywilizacyjnymi. Źródłem błonnika pokarmowego o szczególnych walorach fizjologicznych jest ziarno owsa. Badania kliniczne potwierdzają wpływ przetworów owsianych na obniżenie stężenia cholesterolu całkowitego we krwi oraz korzystne zmiany w relacji frakcji HDL do LDL [3,7]. W wyniku fermentacji bakteryjnej błonnika owsianego powstają także znaczne ilości kwasu masłowego, któremu przypisuje się znaczącą rolę w profilaktyce nowotworów jelita grubego [4,11].

Każda więc próba wprowadzenia tak cennego komponentu do żywności nabiera szczególnego znaczenia. Opracowanie technologii produkcji wyrobów ekstrudowanych z udziałem ziarna owsa napotyka jednak na istotne trudności związane z wysoką zawartością tłuszczu. Większość dotychczasowych prac koncentrowała się nad zastosowaniem surowców owsianych w postaci otręb, płatków bądź mąki owsianej [13,15,25,28,29]. Otręby owsiane i płatki są jednak bardzo kosztownym komponentem mieszanek. Zdecydowanie tańszym rozwiązaniem mającym szansę na szerokie zastosowanie może być zastąpienie tych surowców razówką owsianą. Dotychczasowe badania przeprowadzone dla różnych surowców owsianych wykazały, że maksymalny udział tych komponentów w mieszankach z kaszką kukurydzianą, w przypadku ekstrudera jednoślimakowego, wynosi 18-21%. Wprowadzenie wyższych udziałów powoduje zanik przepływu wstecznego i poślizg materiału w ekstruderze [5,27].

Przeprowadzono więc badania nad możliwością zastosowania razówki owsianej w kompozycji z otrębami pszennymi i okrywą nasienną grochu w ekstruzji dwuślimakowej do produkcji ekstrudatów określanych mianem „galanterii śniadaniowej” m.in. błyskawicznych kaszek, kleików oraz dodatków kształtujących właściwości funkcjonalne. Przebadano także wpływ składu surowcowego mieszanki i wilgotności surowca na podstawowe właściwości fizyczne ekstrudatów.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano komercyjnie dostępną kaszkę kukurydzianą, ziarno owsa obłuszczonego, otręby pszenne oraz okrywę nasienną grochu. Skład chemiczny surowców oraz wartości WSI i WAI przedstawia tabela 1. Surowce rozdrabniano do odpowiedniej granulacji (średnica zastępcza $\Phi_z = 0,7$ mm) przy użyciu rozdrabniacza udarowego oraz oznaczono zawartość suchej masy. Przygotowane mieszanki nawilżano i mieszano zgodnie z modelem doświadczenia (tab. 2), kondycjonowano przez 12 h oraz ponownie badano zawartość suchej masy.

Tabela 1. WSI, WAI oraz skład chemiczny surowców (% s.m.)**Table 1.** WSI, WAI and chemical composition of raw materials (% d.b.)

Komponent Component	WSI x ± SD	WAI x ± SD	Bezazot. wyciąg. N-free extract	Białko Protein x ± SD	Tłuszcz Fat x ± SD	Włókno surowe Crude fibre x ± SD	Popiół Ash x ± SD	TDF	SDF x±SD	IDF x ± SD
Kaszka kukurydz. Corn semolina	5,46 ±0,02	231 ±0,56	87,13	9,96 ±0,02	1,09 ±0,08	0,39 ±0,07	1,43 ±0,15	6,31	1,05 ±0,07	5,26 ±0,04
Razówka owsiana Oat meal	5,86 ±0,15	186 ±0,45	73,01	14,93 ±0,27	7,64 ±0,11	2,30 ±0,2	2,12 ±0,06	18,05	4,73 ±0,26	13,32 ±0,05
Otręby pszenne Wheat bran	1,25 ±0,06	297 ±0,67	68,37	20,57 ±0,18	1,81 ±0,09	5,32 ±0,14	3,92 ±0,07	31,95	4,19 ±0,13	27,76 ±0,07
Okrywa nasienna grochu Pea hulls	2,85 ±0,21	262 ±0,25	44,48	15,51 ±0,09	2,01 ±0,12	33,37 ±0,05	4,62 ±0,08	67,64	5,78 ±0,21	61,86 ±0,54

TDF – błonnik całkowity – Total dietary fibre; SDF – błonnik pokarmowy rozpuszczalny – Soluble dietary fibre; IDF – błonnik pokarmowy nierozpuszczalny – Insoluble dietary fibre.

Tabela 2. Model doświadczenia**Table 2.** Model of the experiment

Lp. Item	Komponenty – Component (%)				Wilgotność Moisture content (%)
	Kaszka kuku- rydziana Corn semolina	Razówka owsiana Oat meal	Otręby pszenne Wheat bran	Okrywa nasienna grochu Pea hulls	
1	80	10	10		
2	70	15	15		
3	60	20	20	0	22
4	50	25	25		
5	40	30	30		
6	80	10	10		
7	70	15	15		
8	60	20	20	0	14
9	50	25	25		
10	80	6,66	6,66	6,66	
11	70	10	10	10	
12	60	13,33	13,33	13,33	22
13	50	16,66	16,66	16,66	
14	40	20	20	20	

Badania przeprowadzono na ekstruderze dwuślimakowym przeciwbieżnym. Zastosowano stały rozkład temperatur cylindra 120/150/180/180/130°C, obroty ślimaków 72 obr·min⁻¹ oraz średnicę matrycy 2x5mm.

Stopień ekspandowania określano jako stosunek pola przekroju poprzecznego ekstrudatu do przekroju otworu matrycy. Gęstość właściwą ekstrudatów (z uwzględnieniem porów wewnętrznych produktu) określano jako stosunek masy ekstrudatu do jego objętości [20]. Do badań pobierano próby nie rozdrobionego ekstrudatu o długości 1 m. Próby ważono z dokładnością do 0,01 g, obliczano objętość i wyznaczano gęstość właściwą. Za miarę tekstury przyjęto wielkość energii potrzebnej do wielopłaszczyznowego przecięcia próby, którą odnoszono do 1 g próby. Pomiary wykonano w urządzeniu do wielopłaszczyznowego ścinania [19].

Wodochłonność ekstrudowanego produktu badano według Jao i in. [9]. Wodochłonność ekstrudowanej masy (WAI) oraz współczynnik rozpuszczalności suchej masy (WSI) oznaczano według AACC [1] [Method 88-04] w modyfikacji Rzedzickiego i in. [23], stosując następujące parametry rozdziału: przeciążenie 2200 g i czas rozdziału 15 min. W zastosowanych surowcach oznaczano zawartość białka [AACC, Method 46-08, N x 6,25], tłuszczu [AACC, Method 30-10], włókna surowego [AACC, Method 32-10] i popiołu [AACC, Method 08-01]. Oznaczano również błonnik pokarmowy całkowity (TDF), nierozpuszczalny (IDF) i rozpuszczalny (SDF). Oznaczenia błonnika pokarmowego wykonano według metod AOAC Method 991.43; AOAC Method 985.29; AACC, Method 32-07; AACC, Method 32-21; AACC, Method 32-05, wykorzystując zestawy enzymów i procedury firmy Megazyme. Metody AACC i AOAC zaczerpnięto z Approved Methods of AACC [1].

Pomiary lepkości pozornej przeprowadzono w oparciu o metody opracowane i sprawdzone w dotychczasowych badaniach [21,26,28]. Wysuszone próby ekstrudatów rozdrabniano w laboratoryjnym rozdrabniaczu żarnowym przy wielkości szczeliny roboczej wynoszącej 0,2 mm. Do pomiarów przygotowywano 5% zawiesinę w wodzie destylowanej. Kolby z zawiesiną umieszczano w łaźni wodnej wstrząsanej typ 357. Zastosowano częstotliwość łaźni 200 min⁻¹ oraz amplitudę 3. Badania przeprowadzono przy ogrzewaniu zawiesiny od 20°C do 90°C oraz przy schładzaniu od 90°C do 20°C. W czasie ogrzewania i chłodzenia zachowano stały gradient temperatury wynoszący 1°C·min⁻¹. W pomiarach wykorzystano reometr rotacyjny Mettler Rheomat RM 180 o współosiowym układzie cylindrów (system pomiarowy nr 11), przy stałym gradiencie prędkości ścinania 1200 s⁻¹. W celu zapobieżenia sedimentacji zawiesiny przed każdym pomiarem zawiesinę mieszało przez stały określony czas. Każdorazowo wygrzewano również elementy pomiarowe lepkościomierza do założonej temperatury pomiaru. W czasie pomiarów odczytywano moment obrotowy, temperaturę, naprężenia styczne oraz współczynnik lepkości dynamicznej.

Pomiary stopnia ekspandowania i tekstury wykonywano w 52 powtórzeniach, dwa skrajne wyniki odrzucano. Wodochłonność metodą odciekową i wirówkową wykonywano w sześciu powtórzeniach. Skład chemiczny oznaczano w trzech powtórzeniach. Obliczano wartość średnią, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Jeżeli wartości współczynnika zmienności przekraczały wyznaczone granice błędu dla danej metody, badania powtarzano. Dla zmiennych ciągłych przeprowadzono analizę regresji. Wyznaczono równania regresji i współczynniki determinacji R^2 .

WYNIKI

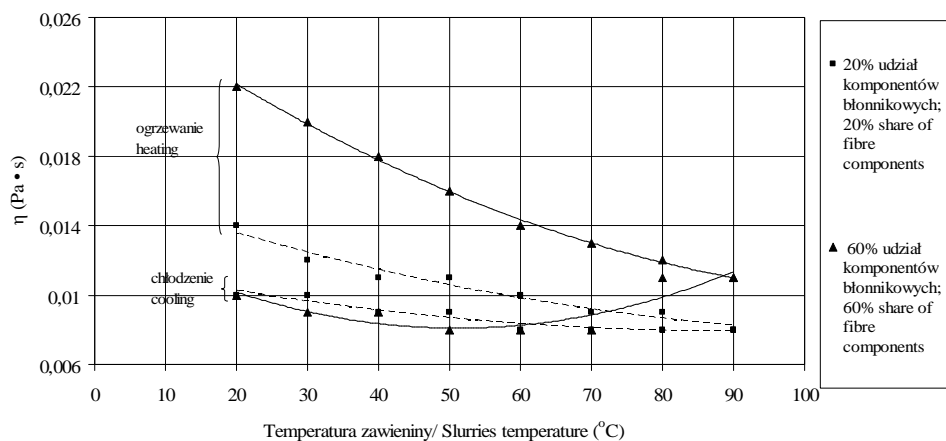
Proces ekstruzji mieszanin wysokobłonnikowych przy założonych parametrach procesu przebiegał poprawnie. Nie obserwowano zapiekania ekstrudera i blokowania przepływu masy. W większości prób uzyskano wyroby wyekspandowane o strukturze komórkowej. Próby o dużym udziale komponentów błonnikowych dawały produkt o strukturze kaszkowatej. Uniemożliwiło to tradycyjny pomiar stopnia ekspandowania, gęstości właściwej oraz tekstury tych prób. Zmiana składu surowcowego ekstrudowanych mieszanek pozwalała na bardzo szeroką modyfikację stopnia ekspandowania i gęstości właściwej. Uzyskane ekstrudaty charakteryzowały się niskim stopniem ekspandowania od 10,55 do 1,58 oraz dość wysoką gęstością właściwą od 139,04 nawet do 845 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Wartości energii niszczącej mieściły się w przedziałach od 0,24 do 0,38 $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ w przypadku mieszanek kaszki kukurydzianej, razówki owsianej i otrąb pszennych oraz od 0,36 do 0,45 $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ dla mieszanek z dodatkowym udziałem okrywy nasiennej grochu.

Proces ekstruzji pozwalał także na szeroką modyfikację rozpuszczalności (WSI) i wodochłonności (WAI) otrzymywanych ekstrudatów. Notowano wyższe wartości WSI oraz WAI dla ekstrudatów w porównaniu do surowca (tab. 1, 3). Zwiększenie udziału komponentów błonnikowych od 20 do 60% spowodowało obniżenie WSI od 25% s.m. do 7-10% s.m., w zależności od użytych surowców. Równocześnie z obniżeniem WSI nastąpiło także znaczne obniżenie wodochłonności (met. wirówkowa) otrzymanych wyrobów (tab. 3). Odmienne wyniki uzyskano natomiast dla metody odciekowej. Po początkowym spadku wodochłonności widoczne jest odwrócenie tendencji i wyraźny wzrost wodochłonności (tab. 3). Przeprowadzone badania wskazały na znaczny wpływ wilgotności surowca na badane cechy. Wyższa wilgotność surowca prowadziła do uzyskania niższych wartości WSI; przy 50% udziale komponentów błonnikowych różnica między wartościami WSI otrzymanymi dla wilgotności surowca 22 i 14% dochodziła do 60%.

Tabela 3. Właściwości fizyczne ekstrudatów
Table 3. Physical properties of extrudates

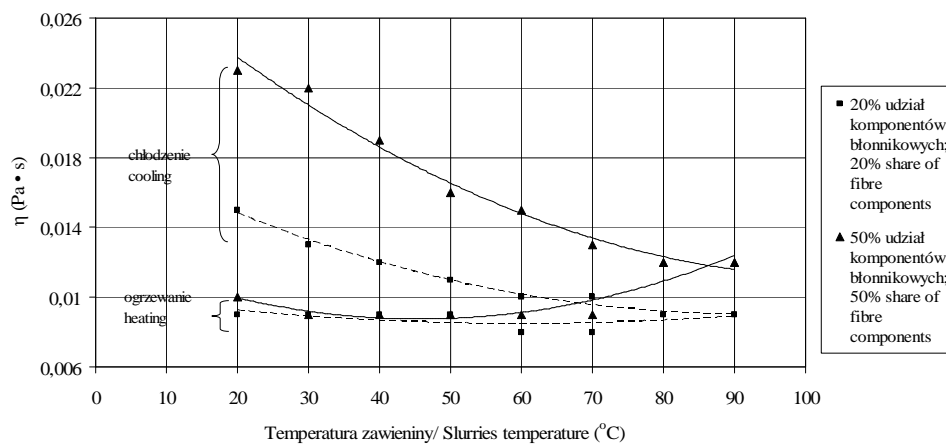
Lp. Item	Stopień ekspandowania Expansion ratio $x \pm SD$	Gęstość właściwa Specific density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Tekstura Texture ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$) $x \pm SD$	WSI (% s.m.) (% d.m.) $x \pm SD$	WAI met. wirówkowa centrifuge method (% s.m.) (% d.m.) $x \pm SD$	WAI met. odciekowa drip method (% s.m.) (% d.m.) $x \pm SD$
1	9,73±0,18	170,92	0,38±0,23	25,22±0,2	551,87±0,23	191,7±0,24
2	5,42±0,08	309,16	0,31±0,11	13,30±0,21	453,17±0,31	153,3±0,08
3	1,58±0,23	845,28	0,24±0,09	8,07±0,18	347,49±0,09	143,3±0,18
4	–	–	–	7,05±0,035	300,46±0,16	331,7±0,09
5	–	–	–	7,50±0,14	279,62±0,12	453,3±0,09
6	10,55±0,31	139,04	0,60±0,16	23,60±0,07	485,58±0,15	546,7±0,19
7	–	–	–	16,82±0,12	450,43±0,18	318,3±0,15
8	–	–	–	12,77±0,06	374,11±0,24	271,7±0,16
9	–	–	–	11,18±0,21	337,47±0,11	376,7±0,07
10	5,44±0,24	335,76	0,45±0,05	24,69±0,15	495,78±0,08	123,7±0,04
11	4,59±0,19	376,16	0,45±0,13	23,38±0,06	386,06±0,14	160,0±0,16
12	2,40±0,09	651,76	0,43±0,08	9,66±0,11	356,05±0,12	106,7±0,08
13	1,73±0,12	792,27	0,38±0,28	8,28±0,15	339,93±0,06	103,3±0,02
14	1,62±0,08	804,76	0,36±0,14	9,37±0,14	310,91±0,22	173,3±0,05

Badania lepkości pozornej wodnych zawiesin ekstrudatów wykazały znaczny wpływ surowców błonnikowych (rys 1-3). Wyższe wartości lepkości pozornej po skończonej fazie schładzania notowano dla zawiesin sporządzonych z ekstrudatów o wyższym procentowym udziale surowców wysokobłonnikowych. Wzrost udziału surowców wysokobłonnikowych z 20 do 60% (mieszanki z udziałem razówki owsianej i otrąb pszennych) przyczyniał się do wzrostu lepkości pozornej zawiesin w końcowej fazie chłodzenia od 0,014 do 0,022 Pa·s. Zawiesiny ekstrudatów, w których część razówki owsianej i otrąb pszennych zastąpiono okrywą nasienną grochu, charakteryzowały się nieznacznie niższą lepkością pozorną (rys. 1-3). Dla wszystkich analizowanych prób obserwowano znaczne różnice pomiędzy lepkością pozorną mierzoną w fazie ogrzewania i chłodzenia zawiesin. W badanych przedziałach nie odnotowano natomiast większego wpływu wilgotności surowca.



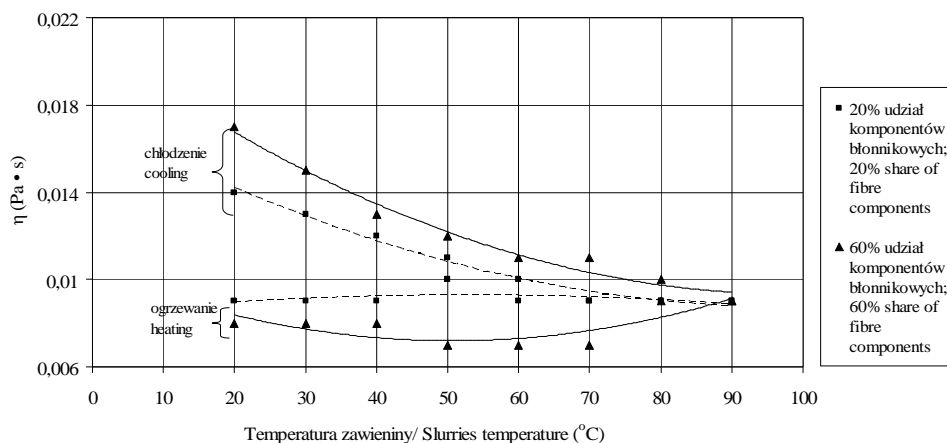
Rys. 1. Lepkość pozorna zawiesin ekstrudatów (razówka owsiana : otręby pszenne – 1:1), mierzona w fazie ogrzewania i chłodzenia. Próby 1 i 5, wilgotność surowca 22%

Fig. 1. Apparent viscosity of extrudate slurries (oat meal : wheat bran – 1:1). Samples no. 1 and 5, moisture content 22%



Rys. 2. Lepkość pozorna zawiesin ekstrudatów (razówka owsiana : otręby pszenne – 1:1), mierzona w fazie ogrzewania i chłodzenia. Próby 6 i 9, wilgotność surowca 14%

Fig. 2. Apparent viscosity of extrudate slurries (oat meal : wheat bran – 1:1). Samples no. 6 and 9, moisture content 14%



Rys. 3. Lepkość pozorna zawiesin ekstrudatów (razówka owsiana : otręby pszenne : okrywa nasienne grochu – 1:1:1), mierzona w fazie ogrzewania i chłodzenia. Próby 10 i 14, wilgotność surowca 22%
Fig. 3. Apparent viscosity of extrudate slurries (oat meal : wheat bran :pea hulls – 1:1:1). Samples no. 10 and 14, moisture content 22%

Tabela 4. Równania krzywej regresji i współczynników determinacji
Table 4. Regression equations and determination coefficients for samples

Nr próby Sample No.	Ogrzewanie – Heating		Chłodzenie – Cooling	
	Równanie krzywej Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient	Równanie krzywej Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient
1	$y = 5 \cdot 10^{-7}x^2 - 9 \cdot 10^{-5}x + 0,0118$	$R^2 = 0,918$	$y = 6 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0001x + 0,0162$	$R^2 = 0,962$
5	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0002x + 0,0137$	$R^2 = 0,772$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0003x + 0,0275$	$R^2 = 0,998$
6	$y = 5 \cdot 10^{-7}x^2 - 6 \cdot 10^{-5}x + 0,0102$	$R^2 = 0,317$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0002x + 0,0185$	$R^2 = 0,987$
9	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0002x + 0,0126$	$R^2 = 0,8331$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0004x + 0,0302$	$R^2 = 0,982$
10	$y = -3 \cdot 10^{-7}x^2 + 3 \cdot 10^{-5}x + 0,0084$	$R^2 = 0,1769$	$y = 9 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0002x + 0,0174$	$R^2 = 0,986$
14	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0001x + 0,0104$	$R^2 = 0,6374$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0002x + 0,021$	$R^2 = 0,979$

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały, że poprzez zmianę składu mieszaniny wysokobłonnikowej istnieje możliwość szerokiej modyfikacji właściwości fizycznych produktu i kreowania cech ekstrudatu adekwatnych do jego przeznaczenia. Wzrost udziału komponentów błonnikowych przyczyniał się do znacznego obniżenia stopnia ekspandowania i wzrostu gęstości właściwej (tab. 3). Obserwowanie zmiany wynikały ze zwiększenia zawartości włókna w ekstrudowanych mieszankach, a tym samym zmniejszenia udziału skrobi, tworzącej w ekstrudacie fazę ciągłą. Zbliżony kierunek zmian odnotowano także w innych badaniach [31,24]. Produkty, które uzyskały strukturę kaszkowatą nie zdołały utrzymać struktury komórkowej. Nie oznacza to jednak, że są to produkty nieprzetworzone. Ze względu na wysoką zawartość błonnika rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego faza ciągła ekstrudowanej masy nie była w stanie utworzyć charakterystycznej struktury typu „plastra miodu”. Niski stopień ekspandowania ekstrudatów zwartych oraz wysoka ich gęstość właściwa nie jest ich wadą technologiczną. Takie ekstrudaty mogą być z powodzeniem polecane do produkcji zbóż śniadaniowych. Nieznaczne zmiany energii niszczącej związane ze wzrostem udziału komponentów błonnikowych dają możliwość otrzymania wyrobów wysokobłonnikowych o pożądanej teksturze i bardzo dobrej chrupkości, zwłaszcza po zastosowaniu dodatkowo operacji toastowania.

Przeprowadzone badania wykazały bardzo duże możliwości modyfikowania rozpuszczalności (WSI) oraz wodochłonność (WAI) ekstrudatów (tab. 3). WSI jest uznawany za jeden ze wskaźników pozwalających określić stopień degradacji produktu [29], uzależniony w głównej mierze od zawartości skrobi, stopnia jej depolimeryzacji [14,30], temperatury procesu, wilgotności surowca, prędkości obrotowej ślimaka (-ów) i średnicy otworu matrycy [16,17,24,29]. Niektóre badania wskazują także na wpływ zawartości włókna na rozpuszczalność ekstrudatów [8,18]; uzyskane wyniki potwierdzają taką tezę. W przeprowadzonych badaniach notowano dużą rozpiętość uzyskanych wyników WSI od 25 do 7% s.m. Taka rozpiętość wskazuje na duże możliwości modyfikacji tego parametru ekstrudatów za pomocą składu surowcowego i wskazuje konkretny sposób otrzymania ekstrudatów o niskiej rozpuszczalności. Dla przykładu niektóre produkty wysokoprzetworzone, w tym także ekstrudowane mogą osiągać wartości WSI dochodzące nawet do 50% s.m. [22]. Istotne zmiany WSI nastąpiły także w wyniku zmiany wilgotności surowca. Wyższa wilgotność surowca skutkowała niższymi wartościami WSI. Zgodne jest to z wynikami uzyskanymi przez innych autorów dla takich surowców jak np.: łuska grochowa, lędwian, kukurydza, otręby pszenne, śruta pszena, mąka owsiana czy też maniok [8,24,29,31]. Wzrost wilgotności surowca powoduje spadek lepkości przetwarzanej masy, w związku z tym zmniejszeniu

ulega nateżeniu naprężeń ścinających oddziaływujących na materiał, co prowadzi do niższej degradacji biopolimerów.

Zwiększanie udziału komponentów wysokobłonnikowych powodowało obniżenie WAI (metoda wirówkowa). Podobne tendencje odnotowali także Rzedzicki i in. [24] oraz Sobota i Rzedzicki [31]. Odnotowane różnice pomiędzy metodą wirówkową a odciekową (tab. 3), przy wysokim udziale komponentów błonnikowych, mogą świadczyć o zróżnicowanej przydatności tych metod. Metoda odciekowa opisuje wodochłonność ekstrudowanego produktu, metoda wirówkowa opisuje wodochłonność ekstrudowanej rozdrobnionej masy, a więc charakteryzuje potencjalną ilość wody, jaka może być pochłonięta przez ekstrudat przy wystarczająco długim czasie namakania.

Zmiany lepkości zawiesin, jakie obserwowano w toku przeprowadzonych badań, pozostają w dużym związku ze zmianami zawartości komponentów błonnikowych w mieszankach (rys. 1-3). We wszystkich analizowanych próbach obserwowano wyższe wartości lepkości pozornej dla etapu chłodzenia zawiesin niż dla etapu ogrzewania. Największe różnice odnotowano dla zawiesin ekstrudatów o wyższym udziale surowców błonnikowych. Takie wyniki wskazują na mniejszą degradację produktu w czasie procesu [32,33]. Zależności takie są zgodne z wcześniejszymi wynikami badań nad współczynnikiem rozpuszczalności WSI (tab. 3). Jednocześnie widoczne były tylko niewielkie zmiany lepkości pozornej w czasie ogrzewania zawiesiny (rys. 1-3). Początkowo ogrzewanie zawiesiny powodowało nieznaczne obniżenie lepkości pozornej, natomiast po przekroczeniu temperatur 60-70°C następował dość wyraźny wzrost lepkości pozornej, zwłaszcza w zawiesinach ekstrudatów o wysokim udziale komponentów błonnikowych. Taki przebieg krzywej wynikał z nakładania się na siebie dwóch przeciwstawnych zjawisk: obniżania lepkości pozornej na skutek wzrostu temperatury oraz wzrostu tejże lepkości wynikającej z kleikowania skrobi, która nie uległa kleikowaniu w czasie ekstruzji. Prowadzi to do konkluzji iż niewielkie różnice pomiędzy krzywą lepkości w fazie ogrzewania i chłodzenia wskazywałyby na całkowite skleikowanie skrobi w czasie procesu, jak również na wysoką jej dekstrynizację. Wydaje się również, że w produktach wysoko przetworzonych o lepkości zawiesin decyduje nie tylko zawartość skrobi i stopień jej przetworzenia, ale także zwiększona zawartość błonnika pokarmowego. Uzyskane wyniki pomiarów lepkości nabierają szczególnego znaczenia, jeżeli weźmie się pod uwagę wpływ zwiększonej lepkości treści pokarmowej na obniżenie np. poziomu cholesterolu [6]. Skleikowana skrobia ulegnie bardzo szybko hydrolizie tracąc tym samym lepkość, frakcje błonnika mogą natomiast obniżyć swoją lepkość dopiero w wyniku procesów fermentacyjnych w jelicie grubym, zachowując tym samym wysoką lepkość w jelicie cienkim.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość zastosowania w ekstruzji dwuślimakowej łatwo dostępnego i taniego surowca – razówki owsianej. W połączeniu z innymi surowcami wysokobłonnikowymi daje możliwość kreowania pożądanych cech produktu: stopnia ekspandowania, gęstości, WSI, WAI oraz lepkości pozornej wodnych zawiesin ekstrudatów.

2. Zwiększenie udziału komponentów błonnikowych przyczynia się do obniżenia ekspandowania i wzrostu gęstości właściwej. Nie stwierdzono istotnego wpływu komponentów błonnikowych na wartości energii niszczącej potrzebnej do przecięcia próby, będącej miarą tekstury produktu.

3. Proces ekstruzji zastosowanych mieszanek wysokobłonnikowych prowadzi do wzrostu rozpuszczalności suchej masy (WSI) i wodochłonności ekstrudatów, w porównaniu do surowca. Zwiększenie udziału komponentów błonnikowych w mieszkankach oraz zwiększenie wilgotność surowca wpływa na obniżenie WSI.

4. Wprowadzenie do ekstrudowanych mieszanek surowców błonnikowych przyczynia się do wzrostu lepkości pozornej wodnych zawiesin ekstrudatów. Pomiar współczynnika lepkości dynamicznej wodnych zawiesin ekstrudatów i wyznaczenie pętli lepkości w fazie ogrzewania i chłodzenia wodnych zawiesin ekstrudatów mogą w sposób pośredni dostarczyć informacji o intensywności procesu.

PIŚMIENNICTWO

1. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 2000.
2. **Aldoori W., Gio Vannucci E., Rockett H., Sampson L., Rimm E., Willett W.:** A prospective study of dietary fiber types and symptomatic diverticular disease in men. *J. Nutr.*, 127, 714-719, 1997.
3. **Braaten J.T., Wood P.J., Scot F.W.:** Oat β -glucan reduces serum cholesterol concentration in hypercholesterolemic subject. *European Journal of Clinical Nutrition*, 48, 465-474, 1994.
4. **Edwards Ch.A.:** The physiological effects of dietary fibre. In: *Dietary Fiber in Health and Disease*. St. Paul. Minnesota, USA, 58-71, 1995.
5. **Fornal Ł., Majewska K., Kondrusik R., Wójcik E.:** Application of oat grain in extrusion – cooking. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olszt. Technologia Alimentorum*, 28, 109-118, 1995.
6. **Gallaher D.G., Hassel A.C.:** The role of viscosity in the cholesterol-lowering effect of dietary fiber. In: *Dietary Fiber in Health and Disease*, Eagan Press, St. Paul, Minnesota, USA, 106-114, 1995.
7. **Gerhardt A.L., Gallo N.G.:** Full-fat rice bran and oat bran similarly reduce hypercholesterolemia in humans. *Journal of Nutrition*, 128, 865-869, 1998.
8. **Hashimoto J.M., Grossmann M.V.E.:** Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. *Int. J. of Food Sci. Technol.*, 38, 511-517, 2003.
9. **Jao C.Y., Chen A.H., Goldstein W.E.:** Evaluation of corn protein concentrate: extrusion study. *Journal of Food Science*, 50, 1275-1280, 1985.

10. **Jenkins D.J.A., Jenkins A.J., Kendall C.W.C., Vuksan A.V.:** Dietary fibre, carbohydrate metabolism and chronic disease. In: *Dietary Fiber in Health and Disease*, Eagan Press, St. Paul, Minnesota, USA, 162-167, 1995.
11. **Johnson I.T.:** New approaches to the role of diet in the prevention of cancers of the alimentary tract. *Mutation Research*, 551, 9-28, 2004.
12. **Jones J.M.:** Dietary advice in North America: the good, the bad and the unheeded. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*. Blackwell Science, U.K., 13-22, 2001.
13. **Liu Y., Hsieh F., Heymann H., Huff H. E.:** Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of Food Science*, 65, 1253-1259, 2000.
14. **Matthey F.P., Milford A.H.:** Physical and Functional Properties of Twin-screw Extruded Whey Protein Concentrate-Corn Starch Blends. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 30, 359-366, 1997.
15. **Mendonça S., Grossmann M. V. E., Verhè R.:** Corn bran as a fibre source in expanded snacks. *Lebensm.-Wissenschaft und Technology*, 33, 2-8, 2000.
16. **Mezreb K., Goullieux A., Ralainirina R., Queneudec M.:** Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *J. Food Eng.*, 57, 145-152, 2003.
17. **Nabeshima E.H., Grossmann M.V.E.:** Functional properties of pregelatinized and cross-linked cassava starch obtained by extrusion with sodium trimetaphosphate. *Carbohydr. Polym.*, 45, 347-353, 2001.
18. **Onwulata C.I., Konstance R.P., Smith P.W., Holsinger V.H.:** Co-extrusion of Dietary Fiber and Milk Proteins in Expanded Corn Products. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 34, 424-429, 2001.
19. **Rzedzicki Z.:** New method of texture measurement of crisp food and feed. *Int. Agrophysics*, 8, 661-670, 1994.
20. **Rzedzicki Z.:** Studia nad procesem ekstruzji roślinnych surowców białkowych. Rozprawa habilitacyjna. Wydawnictwo AR Lublin, 1996.
21. **Rzedzicki Z.:** Badania lepkości ekstrudatów o podwyższonej zawartości błonnika pokarmowego. *Technologia Żywności a Oczekiwania Konsumentów*. Praca zbiorowa pod red. T. Habera i H. Porzucek, SGGW Warszawa, 2001.
22. **Rzedzicki Z.:** Badania składu chemicznego wybranych błyskawicznych zbóż śniadaniowych. *Bromat. Chem. Toksygol.*, Tom XXXVII S, 141-146, 2005
23. **Rzedzicki Z., Mysza A., Kasprzak M.:** Badania nad metodą oznaczania współczynnika rozpuszczalności suchej masy. *Annales UMCS. Sec. E.*, 59, 323-328, 2004.
24. **Rzedzicki Z., Sobota A., Zarzycki P.:** Influence of pea hulls on the twin screw extrusion-cooking process of cereal mixtures and the physical properties of extrudate. *Int. Agrophysics*, 18, 73-81, 2004.
25. **Rzedzicki Z., Szpryngiel B., Sobota A.:** Estimation of some chosen physical properties of extrudates obtained from corn semolina and oat bran mixtures. *Int. Agrophysics*, 14, 233-239, 2000.
26. **Rzedzicki Z., Zarzycki P.:** Reologiczne właściwości ekstrudatów z udziałem komponentów pszennych. *Żywność*, 4(41)S, 52-61, 2004.
27. **Rzedzicki Z., Zarzycki P.:** Badania procesu ekstruzji mieszanin z udziałem lędwianu i razówki owsianej. *Acta Agrophysica*, 6(2), 515-528, 2005.
28. **Rzedzicki Z., Zarzycki P., Sobota A.:** Badania właściwości reologicznych ekstrudatów z udziałem komponentów owsianych. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 315-322, 2004.
29. **Singh N., Smith C.:** A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *J. Food Eng.*, 34, 15-32, 1997.
30. **Smith A.C.:** Studies on the physical structure of starch based material in the extrusion cooking process. In: *Food Extrusion Science and Technology*. M. Dekker, New York, , 573-619, 1992.

31. **Sobota A., Rzedzicki Z.:** Badania nad technologią ekstruzji dwuślimakowej ekstrudatów z udziałem otrąb pszennych. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 303-313, 2004.
32. **Whalen P.J.:** Detection of differences in corn quality for extrusion processes by rapid visco analyser. *Cereal Foods World*, 43, 69-72, 1998.
33. **Whalen P.J.:** Measuring process effects in ready-to-eat breakfast cereal. *Cereal Foods World*, 44, 407-412, 1999.

TWIN-SCREW EXTRUSION COOKING OF MIXTURES WITH A SHARE OF OAT MEAL

Zbigniew Rzedzicki, Piotr Zarzycki

Engineering and Cereals Technology Department, Agricultural University
ul. Skromna 8a, 20-704 Lublin
e-mail: zbigniew.rzedzicki@ar.lublin.pl

Abstract. The aim of the study was to determine the possibilities of using fibre components (oat meal, wheat bran, pea hulls) to produce breakfast cereals. Counter rotating twin-screw extruder was used: barrel temp. 120/150/180/180/130°C, screw speed 72 rpm, die diameter 2x5mm and moisture content 14 and 22%. The effect of fibre component on expansion ratio, specific density, WSI, WAI and viscosity of water slurries of extrudates was investigated. Increasing the share of fibre component in mixtures decreased the radial expansion ratio and increased the specific density. The radial expansion ratio was between 10.55 and 1.58 whereas the specific density was between 139.04 and 845.28 kg m⁻³. There was only a little change in destructive energy necessary for multi-plane sample shearing. Extrusion caused changes in water solubility index (WSI) and water absorption index (WAI) of extrudates; it was observed that a higher content of fibre components decreased the WSI and WAI. Increasing the share of fibre component from 20 to 60% decreased the WSI from 25 to 7-10% d.b., depending on the kind of fibre component. The viscosity of water slurries of extrudates was found to be depended on the share of fibre component but not on moisture content.

Keywords: extrusion cooking, oat, wheat bran, pea hulls