

ZBIGNIEW RZEDZICKI, PIOTR ZARZYCKI

## **REOLOGICZNE WŁAŚCIWOŚCI EKSTRUDATÓW Z UDZIAŁEM KOMPONENTÓW PSZENNYCH**

### **Streszczenie**

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu dodatku komponentów pszennych, wilgotności surowca, profilu rozkładu temperatur w cylindrze ekstrudera oraz średnicy matrycy na współczynnik lepkości dynamicznej wodnych zawiesin ekstrudatów. Do pomiaru właściwości reologicznych zastosowano Mettler Rheomat RM180. Mieszaniny kaszki kukurydzianej i komponentów pszennych (otręby pszenne oraz razówka pszenna) poddano ekstruzji przy użyciu ekstrudera dwuślimakowego 2S-9/5. W badanych zakresach parametrów procesu i cech surowca możliwe było uzyskanie stabilnych warunków wytłaczania nawet przy 80% udziale powyższych komponentów. Na podstawie krzywych obrazujących zależność lepkości od udziału komponentów pszennych wykazano możliwość szerokiej modyfikacji lepkości zawiesin w przedziale od 0,011 do 0,018 Pa·s. Największą lepkością charakteryzowały się próbki z 80% udziałem komponentów pszennych (stosunek otrąb do razówki pszennej = 1:1). W toku przeprowadzonych badań stwierdzono, że lepkość zawiesin w dużym stopniu zależy od temperatury procesu. Podniesienie tej temperatury wpływa na zmniejszenie lepkości zawiesin. Największą lepkość (0,016 Pa·s) uzyskano przy następującym rozkładzie temperatur w cylindrze ekstrudera 80/100/120/110/130°C. Potwierdza to regułę, że wyższe wartości temperatury powodują zwiększoną dekstrynizację skrobi a w konsekwencji spadek lepkości. Stwierdzono niewielkie zmiany lepkości wodnych zawiesin ekstrudatów pozyskiwanych przy różnych wilgotnościach surowca. Jest to prawdopodobnie spowodowane konstrukcją ekstrudera przeciwbieżnego użytego w badaniach, cechuje go bowiem sztywna charakterystyka rozkładu czasu przebywania materiału w ekstruderze.

**Słowa kluczowe:** ekstruzja, lepkość, otręby pszenne, razówka pszenna.

### **Wprowadzenie**

Od kilkunastu lat obserwuje się znaczący wzrost zainteresowania błonnikiem pokarmowym zarówno w środowisku naukowym, jak również wśród konsumentów. Jest to związane z udowodnionym, korzystnym oddziaływaniem błonnika pokarmowego na organizm człowieka. Jak wykazano w licznych badaniach naukowych, spożywanie żywności bogatej w błonnik pokarmowy wpływa na zmniejszenie ryzyka

zachorowalności na wiele chorób cywilizacyjnych m.in.: układu krążenia, nowotworów, cukrzycy, otyłości [1, 7, 10]. Błonnik pokarmowy wpływa także na zmniejszenie gęstości energetycznej żywności, co ma niezwykle istotne znaczenie w przypadku leczenia otyłości [2, 3]. Przy rozpatrywaniu wpływu błonnika pokarmowego na organizm człowieka należy podkreślić zróżnicowane oddziaływanie frakcji rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej. Frakcje rozpuszczalne spowalniają hydrolizę i wchłanianie składników odżywczych, m.in. glukozy, co prowadzi do wolniejszego wzrostu jej stężenia we krwi i wpływa na optymalizację wydzielania insuliny przez trzustkę [8]. Nierozpuszczalne frakcje włókna pokarmowego pobudzają ruchy perystaltyczne jelit, przez co wpływają na lepszą ich motorykę i ukrwienie, powodując szybszy pasaż jelitowy treści pokarmowej.

Jednym z głównych źródeł błonnika pokarmowego w naszej diecie są zboża poddawane różnym procesom technologicznym. Na rynku żywnościowym dominują produkty wysoko przetworzone, które w wyniku przeprowadzanych procesów technologicznych tracą znaczne ilości frakcji bogatych w błonnik. Także zbożowe produkty ekstrudowane wytwarzane są głównie na bazie kaszki kukurydzianej, pozyskiwanej z „odzarodkowanego” i obłuszczonego ziarna kukurydzy. Wielu autorów zwraca uwagę, że w procesach technologicznych poszczególne frakcje błonnika pokarmowego ulegają nie tylko zmianom ilościowym, ale także jakościowym [9]. Zmiany jakościowe poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego nieuchronnie prowadzą do poważnych niekorzystnych zmian właściwości fizycznych produktu, zwłaszcza lepkości [6, 8]. Na szczególną rolę lepkości żywności w profilaktyce prozdrowotnej zwracają uwagę Gallaher i wsp. [5]. Wykazali oni, że wzrost lepkości treści pokarmowej z 50 mPa·s do 500 mPa·s pozwala zmniejszyć poziom cholesterolu z 350 do 190 mg/dl. Wykazali jednocześnie, że zależnie od źródła błonnika pokarmowego, lepkość treści pokarmowej może ulegać istotnym zmianom w wyniku działania procesów fermentacyjnych. Także w dotychczasowych badaniach autorów [11, 12] wykazano, że zarówno skład surowcowy mieszanek, jak również parametry procesu pozwalają modelować reologiczne cechy produktu.

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu wybranych parametrów technologii ekstruzji mieszanin kaszki kukurydzianej z dodatkiem otrąb i razówki pszennej na właściwości reologiczne wodnych zawiesin ekstrudatów.

### **Materiał i metody badań**

Do badań zastosowano kaszkę kukurydzianą oraz otręby pszenne i śrutę pszeną, pozyskane z przemiału gospodarczego pszenicy odmiany Henika (wyciąg mąki stanowił 50%). Surowce dozowano w ściśle określonych proporcjach wynikających z zastosowanego modelu doświadczenia (tab. 1), następnie nawilżano do wymaganej wilgotności i dokładnie mieszano w mieszarce bębnowej. Nawilżone próby były kondycjonowane przez okres 12 h w celu zapewnienia właściwej dyfuzji wody w

nawilżonym materiale. Próby ekstrudowano w ekstruderze dwuślimakowym przeciwbieżnym 2S-9/5 produkcji Metalchem Gliwice.

Tabela 1

Model doświadczenia.

A model of the experiment.

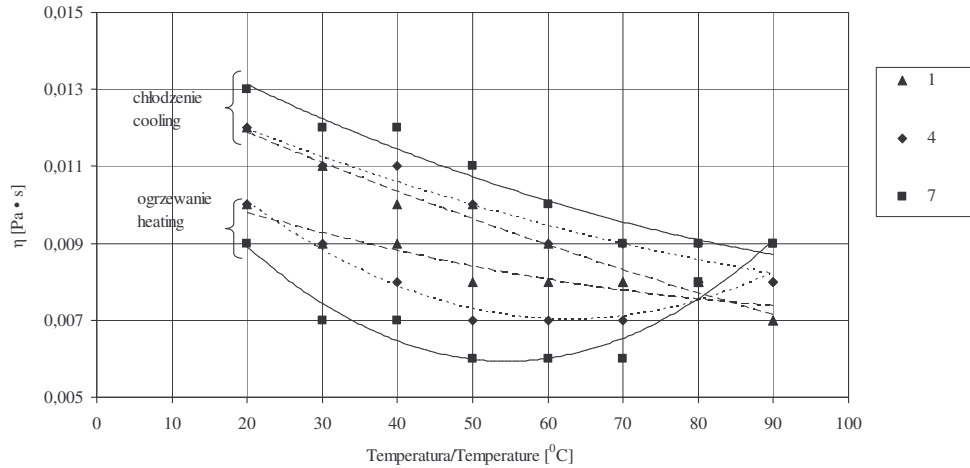
Nr próby Sample No.	Komponenty / Component [%]			Wilgotność Moisture [%]	Temperatura Temperature [°C]	Średnica matrycy Die diameter [mm]
	Kaszka kukurydz. Corn semolina	Otręby pszenne Wheat bran	Śruta pszenna Wheat meal			
1	80	20	-	14	120/150/170/160/130	4,2
2	70	30	-	14	120/150/170/160/130	4,2
3	60	40	-	14	120/150/170/160/130	4,2
4	50	50	-	14	120/150/170/160/130	4,2
5	40	60	-	14	120/150/170/160/130	4,2
6	30	70	-	14	120/150/170/160/130	4,2
7	20	80	-	14	120/150/170/160/130	4,2
8	60	40	-	14	120/150/170/160/130	4,2
9	60	40	-	17	120/150/170/160/130	4,2
10	60	40	-	20	120/150/170/160/130	4,2
11	60	40	-	23	120/150/170/160/130	4,2
12	60	40	-	26	120/150/170/160/130	4,2
13	60	40	-	29	120/150/170/160/130	4,2
14	60	40	-	14	80/100/120/110/130	4,2
15	60	40	-	14	100/120/140/130/130	4,2
16	60	40	-	14	115/130/160/140/130	4,2
17	60	40	-	14	120/140/180/160/130	4,2
18	60	40	-	14	130/160/200/180/130	4,2
19	60	40	-	14	135/180/220/200/130	4,2
20	80	20	-	14	120/150/170/160/130	3,2
21	70	30	-	14	120/150/170/160/130	3,2
22	60	40	-	14	120/150/170/160/130	3,2
23	50	50	-	14	120/150/170/160/130	3,2
24	40	60	-	14	120/150/170/160/130	3,2
25	30	70	-	14	120/150/170/160/130	3,2
26	20	80	-	14	120/150/170/160/130	3,2
27	80	10	10	14	120/150/170/160/130	3,2
28	70	15	15	14	120/150/170/160/130	3,2
29	60	20	20	14	120/150/170/160/130	3,2
30	50	25	25	14	120/150/170/160/130	3,2
31	40	30	30	14	120/150/170/160/130	3,2
32	30	35	35	14	120/150/170/160/130	3,2
33	20	40	40	14	120/150/170/160/130	3,2

Pomiary lepkości prowadzono metodami opracowanymi i sprawdzonymi w dotychczasowych badaniach autorów [11, 12]. Wsuszone próby ekstrudatów rozdrabniano wstępnie w rozdrabniaczu udarowym, a następnie w laboratoryjnym rozdrabniaczu żarnowym, przy wielkości szczeliny roboczej wynoszącej 0,2 mm. Do

pomiarów przygotowywano 5% zawiesinę rozdrobnionych ekstrudatów w wodzie destylowanej. Zawiesinę przenoszono do kolb stożkowych, po czym kolby umieszczano w łaźni wodnej wstrząsanej, typ 357. Zastosowano częstotliwość łaźni  $200 \text{ min}^{-1}$  oraz amplitudę 3. Badania przeprowadzono przy ogrzewaniu zawiesiny od temp. 20 do  $90^\circ\text{C}$  oraz przy schładzaniu od temp. 90 do  $20^\circ\text{C}$ . W czasie ogrzewania i chłodzenia zachowano stały gradient temperatury wynoszący  $1^\circ\text{C}/\text{min}$ . Pomiar lepkości wykonywano co  $10^\circ\text{C}$ . Do pomiarów użyto reometru rotacyjnego Mettler Rheomat RM 180 o współosiowym układzie cylindrów, zastosowano system pomiarowy nr 11, stały gradient prędkości ścinania  $1200 \text{ s}^{-1}$  i interwał czasu 10 s. W celu zapobieżenia sedymentacji przed każdym punktem pomiarowym zawiesinę mieszano 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.

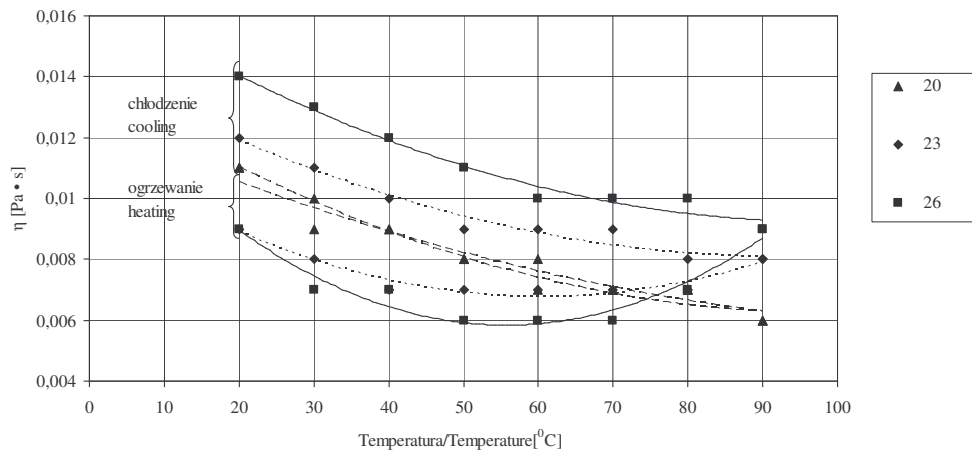
### Wyniki i dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że lepkość wodnych zawiesin ekstrudatów w dużym stopniu była warunkowana składem ekstrudowanej mieszanki. W miarę wzrostu udziału komponentów pszennych w mieszankach obserwowano każdorazowo zwiększanie lepkości zawiesin (rys. 1, 2, 3). W celu zapewnienia właściwej czytelności wykresów, każdorazowo na wykresie umieszczano tylko trzy najbardziej charakterystyczne krzywe związane z fazą ogrzewania zawiesiny oraz trzy krzywe dotyczące fazy chłodzenia. Należy pamiętać, że wzrost udziału komponentów pszennych oznaczał także zmniejszenie udziału kaszki kukurydzianej i tym samym wzrost zawartości błonnika pokarmowego. W przypadku każdej badanej próby obserwowano charakterystyczny układ krzywych fazy ogrzewania oraz fazy chłodzenia zawiesin. Każdorazowo krzywa w fazie chłodzenia układała się ponad krzywą w fazie ogrzewania. Zastanawiające jest, dlaczego w miarę wzrostu udziału otrąb pszennych wzrastała także lepkość zawiesin ekstrudatów (rys. 1, 2, 3). Można przypuszczać, że w produktach wysoko przetworzonych, jakimi bez wątpienia są badane ekstrudaty, o lepkości zawiesiny w większym stopniu decyduje nie skrobia, ale właśnie frakcje błonnika pokarmowego. W nawiązaniu do badań Gallahera i wsp. [5] jest to niewątpliwie bardzo pozytywna cecha produktu. W przewodzie pokarmowym skleikowana skrobia bardzo szybko ulegnie hydrolizie, tracąc tym samym swoją lepkość. Frakcje błonnika mogą natomiast nieznacznie zmniejszyć swoją lepkość tylko w wyniku procesów fermentacyjnych zachodzących w jelicie grubym, zachowując tym samym dużą lepkość treści pokarmowej w jelicie cienkim.



Rys. 1. Wpływ udziału otrąb pszennych w ekstrudatach na współczynnik lepkości dynamicznej zawiesiny, mierzonej w fazie ogrzewania i chłodzenia. Odpowiednio próby nr 1, 4 i 7 zawierały 20, 50 i 80% otrąb pszennych. Średnica matrycy 4,2 mm.

Fig. 1. The effect of wheat components in extrudates on the dynamic viscosity coefficient of the slurry as measured during the heating and cooling phases. Samples No. 1, 4, and 7 contain 20%, 40%, and 80% of wheat bran, respectively. Die diameter is 4.2 mm.



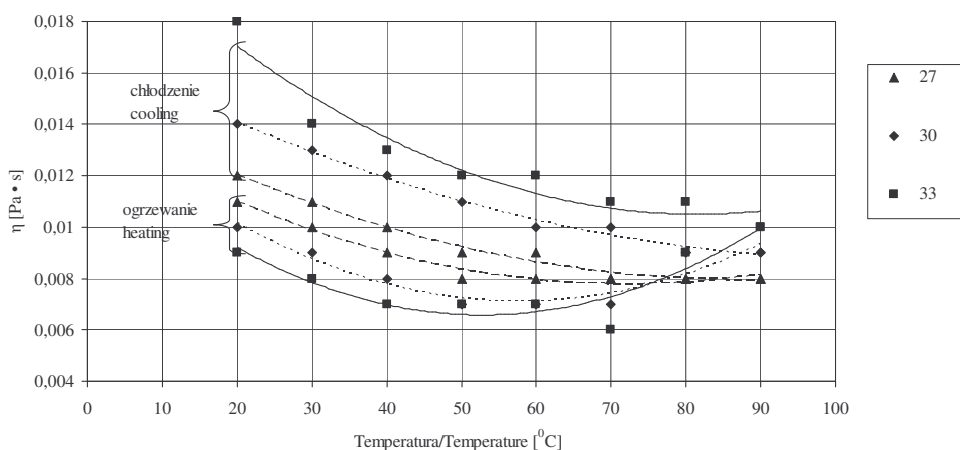
Rys. 2. Wpływ udziału otrąb pszennych w ekstrudatach na lepkość dynamiczną zawiesiny, mierzoną w fazie ogrzewania i chłodzenia. Odpowiednio próby nr 20, 23 i 26 zawierały 20, 50 i 80% otrąb pszennych. Średnica matrycy 3,2 mm.

Fig. 2. The effect of wheat components in extrudates on the dynamic viscosity of the slurry as measured during the heating and cooling phase. Samples No. 20, 23, 26 contain 20%, 40%, and 80% of wheat bran, respectively. Die diameter is 3.2 mm.

Porównując wyniki badań uzyskane przy zastosowaniu matrycy 3,2 mm oraz 4,2 mm (rys. 1 i 2) obserwowano większe rozwarcie krzywych w fazie ogrzewania i chłodzenia w przypadku matrycy 4,2 mm oraz nieznacznie większe wartości lepkości przy matrycy 3,2 mm. Tak więc i tym razem o lepkości decydowały frakcje błonnika pokarmowego, bowiem w miarę zwiększonego oddziaływania ekstrudera na ekstrudowany materiał, zwiększa się udział frakcji rozpuszczalnych błonnika pokarmowego [13].

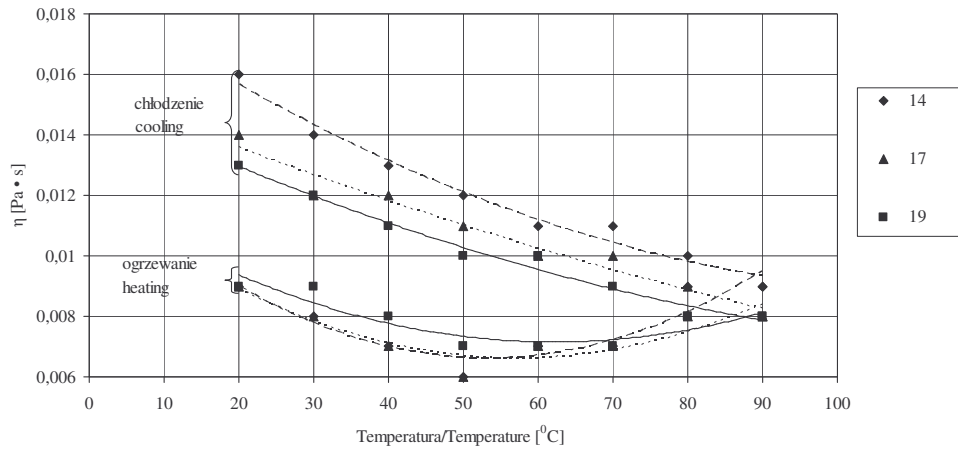
Zastosowanie mieszaniny pszennej o udziale otrąb pszennej i razówki pszennej w stosunku 1:1 nie spowodowało zmniejszenia lepkości zawiesiny ekstrudatów (rys. 3). Lepkość zawiesin wynosiła nawet 0,016 Pa·s. Oznacza to, że taka mieszanka także może być z powodzeniem stosowana do otrzymywania ekstrudatów o podwyższonej lepkości.

Znaczący wpływ na lepkość wodnych zawiesin ekstrudatów wywierała temperatura procesu (rys. 4). Wzrostowi temperatury towarzyszył spadek końcowej lepkości zawiesiny, co może być związane ze stopniem przetworzenia surowca w ekstruderze i intensywną dekstrynizacją skrobi, uzależnioną od temperatury procesu. Podobne tendencje w swoich badaniach odnotowali Śmietana i wsp. [14] oraz Colona i wsp. [4]. Autorzy tłumaczą je zwiększoną depolimeryzacją amylozy i amylopektyny oraz słabszymi oddziaływaniami molekularnymi pomiędzy powstającymi dekstrynami, co w konsekwencji prowadzi do mniejszej lepkości w fazie chłodzenia. Analiza wpływu temperatury procesu na lepkość pozwala na weryfikację poprawności doboru parametrów



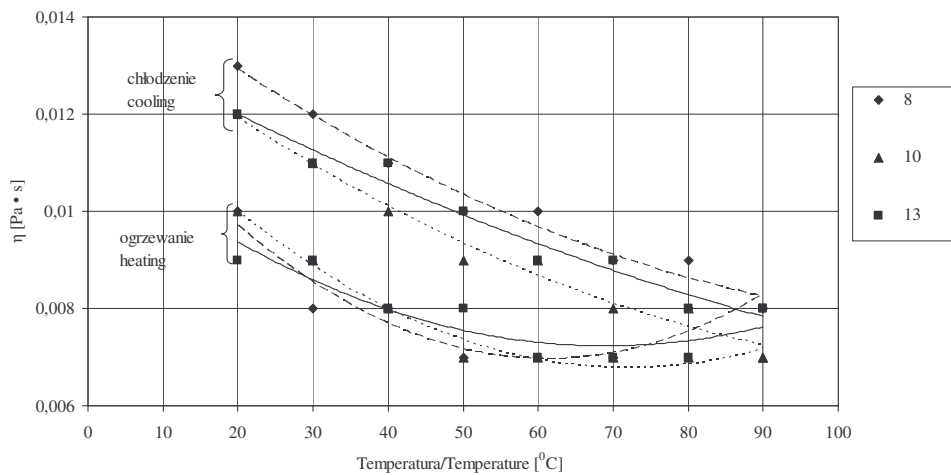
Rys. 3. Wpływ udziału otrąb pszennej i śrutki pszennej (w stosunku 1:1) w ekstrudatach na lepkość dynamiczną zawiesiny, mierzoną w fazie ogrzewania i chłodzenia. Odpowiednio próby nr 27, 30 i 33 zawierały 20, 50 i 80% komponentów pszennej. Średnica matrycy 3,2 mm.

Fig. 3. The effect of wheat bran and wheat meal components in extrudates (rate of wheat bran to wheat meal 1:1) on the dynamic viscosity of slurry during the heating and cooling phase. Samples No. 27, 30, 33 contain 20%, 40%, and 80% of wheat components, respectively. Die diameter is 3.2 mm.



Rys. 4. Wpływ temperatury ekstruzji na lepkość dynamiczną ekstrudatów kukurydzianych z 40% udziałem otrąb pszennych, w fazie ogrzewania i chłodzenia zawiesiny. Odpowiednio próby nr 14, 17 i 19 ekstrudowano w temp. 120, 180 i 220°C.

Fig. 4. The effect of extrusion temperature on the dynamic viscosity of corn extrudates containing 40% of wheat bran, during the heating and cooling phases of the slurry. Samples No. 14, 17, 19 were obtained at 120°C, 180°C, and 220°C, respectively.



Rys. 5. Wpływ wilgotności surowca na lepkość dynamiczną ekstrudatów kukurydzianych z 40% udziałem otrąb pszennych, w fazie ogrzewania i chłodzenia zawiesiny. Odpowiednio próby nr 8, 10 i 13 charakteryzowały się 14, 20 i 29% wilgotnością.

Fig. 5. The effect of raw material moisture content on the dynamic viscosity of corn extrudates containing 40% of wheat bran, during the heating and cooling phases of the slurry. Samples No. 8, 10, 13 were obtained at 14%, 20%, and 29% of moisture content level, respectively.

procesu ekstruzji. Brak znaczących różnic pomiędzy krzywą lepkości w fazie ogrzewania i chłodzenia wskazuje na całkowite skleikowanie skrobi w czasie procesu, jak również na jej wysoką dekstrynizację. Takie warunki prowadzenia procesu nie są zalecane w przetwórstwie żywności, łączą się one bowiem z intensywną degradacją produktu.

Tabela 2

Równania regresji i współczynniki determinacji.

Regression equations and determination coefficients equations.

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	$y = 3E-07x^2 - 7E-05x + 0,011$	$R^2 = 0,8774$	$y = 2E-07x^2 - 9E-05x + 0,0136$	$R^2 = 0,9757$
4	$Y = 2E-06x^2 - 0,0002x + 0,0136$	$R^2 = 0,9435$	$y = 3E-07x^2 - 9E-05x + 0,0136$	$R^2 = 0,9478$
7	$y = 3E-06x^2 - 0,0003x + 0,0134$	$R^2 = 0,9151$	$y = 4E-07x^2 - 0,0001x + 0,0151$	$R^2 = 0,9517$
8	$y = 2E-06x^2 - 0,0002x + 0,013$	$R^2 = 0,8814$	$y = 5E-07x^2 - 0,0001x + 0,0141$	$R^2 = 0,9768$
10	$y = 1E-06x^2 - 0,0002x + 0,0133$	$R^2 = 0,9839$	$y = 7E-07x^2 - 0,0001x + 0,0145$	$R^2 = 0,9842$
13	$y = 9E-07x^2 - 0,0001x + 0,0115$	$R^2 = 0,8132$	$y = 2E-07x^2 - 9E-05x + 0,0136$	$R^2 = 0,9662$
14	$y = 2E-06x^2 - 0,0002x + 0,0127$	$R^2 = 0,8346$	$y = 7E-07x^2 - 0,0002x + 0,0188$	$R^2 = 0,9788$
17	$y = 2E-06x^2 - 0,0002x + 0,0121$	$R^2 = 0,8135$	$y = 2E-07x^2 - 0,0001x + 0,0155$	$R^2 = 0,9599$
19	$y = 1E-06x^2 - 0,0002x + 0,012$	$R^2 = 0,8132$	$y = 4E-07x^2 - 0,0001x + 0,0152$	$R^2 = 0,981$
20	$y = 4E-07x^2 - 0,0001x + 0,0125$	$R^2 = 0,9347$	$y = 8E-07x^2 - 0,0002x + 0,0138$	$R^2 = 0,9746$
23	$y = 1E-06x^2 - 0,0002x + 0,0116$	$R^2 = 0,9345$	$y = 7E-07x^2 - 0,0001x + 0,0143$	$R^2 = 0,9609$
26	$y = 2E-06x^2 - 0,0003x + 0,0134$	$R^2 = 0,925$	$y = 8E-07x^2 - 0,0002x + 0,0168$	$R^2 = 0,9746$
27	$y = 1E-06x^2 - 0,0002x + 0,014$	$R^2 = 0,9749$	$y = 9E-07x^2 - 0,0002x + 0,0148$	$R^2 = 0,9846$
30	$y = 2E-06x^2 - 0,0002x + 0,0143$	$R^2 = 0,8747$	$y = 7E-07x^2 - 0,0002x + 0,0168$	$R^2 = 0,9891$
33	$y = 2E-06x^2 - 0,0003x + 0,0134$	$R^2 = 0,8146$	$y = 2E-06x^2 - 0,0003x + 0,022$	$R^2 = 0,9185$

Przeprowadzono także badania wpływu wilgotności ekstrudowanego surowca na lepkość zawiesin ekstrudatów. Nie odnotowano większego wpływu wilgotności



przetwarzanego surowca na lepkość wodnych zawiesin ekstrudatów (rys. 5) zarówno w fazie ogrzewania, jak również w fazie chłodzenia zawiesiny. Wyniki te sugerują, że przy tak dobranym składzie mieszanki surowcowej zmiany wilgotności w badanym przedziale nie wpływają istotnie na wzrost przepływu wstecznego i tym samym nie wydłużają czasu przebywania surowca w ekstruderze. Takie rezultaty uzyskuje się w ekstruderach przeciwbieżnych o sztywnej charakterystyce rozkładu czasu przebywania surowca w ekstruderze, w szczególności przy ekstrudowaniu trudno upłynniających się mieszanek o podwyższonej zawartości błonnika pokarmowego.

### Wnioski

1. Porównanie krzywych lepkości wyznaczonych w fazie ogrzewania i chłodzenia próbki może być miarą pośredniej oceny intensywności przetworzenia surowca.
2. Odpowiedni dobór składu mieszanki surowcowej pozwala na szeroką modyfikację lepkości zawiesin ekstrudatów.
3. Temperatura procesu ekstruzji także jest czynnikiem modyfikującym lepkość ekstrudatów; wzrostowi temperatury towarzyszy spadek lepkości zawiesin.
4. Nie odnotowano znaczącego wpływu wilgotności ekstrudowanej mieszanki na lepkość zawiesin ekstrudatów.
5. O lepkości zawiesin ekstrudatów decyduje nie tylko zawartość skrobi, ale także zawartość rozpuszczalnych frakcji błonnika pokarmowego.

### Literatura

- [1] 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.*, 1997, **127** (5), 714.
- [2] Burton-Freeman B.: Dietary fiber and energy regulation. *J. Nutr.*, 2000, **130** (2), 272.
- [3] Choct M., Illman R., Biebrick D., Topping D.: White and wholemeal flours from wheats of low and higher apparent metabolizable energy differ in their nutritional effects in rats. *J. Nutr.*, 1998, **128** (2), 234.
- [4] Colona P., Tayeb J., Mercier C.: Extrusion cooking of starch and starchy products. In: *Extrusion cooking*, AACC, Inc., St. Paul, Minnesota, USA 1989, p. 247.
- [5] 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 1995, pp. 106-114.
- [6] Jenkins D.J.A., Jenkins A.J., Kendall C.W.C., Vuksan A.V.: Dietary fiber, carbohydrate metabolism and chronic disease. In: *Dietary Fiber in Health and Disease*, Eagan Press, St. Paul, Minnesota, USA 1995, pp. 162 - 167.
- [7] Kahlon T., Edwards R., Chow F.: Effect of extrusion on hypocholesterolemic properties of rice, oat, corn and wheat bran diets in hamsters. *Cereal Chem.*, 1998, **75**, 897-903.
- [8] Mathers J., Daly M.: Food Polysaccharides, Glucose Absorption and Insulin Sensitivity. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*, Blackwell Science, U.K. 2001, p. 186.
- [9] Poutanen K.: Effect of processing on the properties of dietary fiber. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*, Blackwell Science, U.K. 2001, pp. 277-282.

- [10] Rowland I.: Non-digestible carbohydrates and gut function: implications for carcinogenesis. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*, Blackwell Science, U.K. 2001, p. 226.
- [11] Rzedzicki Z.: Badania lepkości ekstrudatów o podwyższonej zawartości błonnika pokarmowego. W: *Technologia żywności a oczekiwania konsumentów - pod red. T. Habera i H. Porzucek*, Wyd. SGGW. Warszawa 2001.
- [12] Rzedzicki Z., Zarzycki P., Sobota A.: Badania właściwości reologicznych ekstrudatów z udziałem komponentów owsianych. *Annales UMCS* 2004, **59 (1)**, 315-322.
- [13] Rzedzicki Z., Kozłowska H., Troszyńska A.: Application of pea hulls for extrudate production. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2004, **13/54**.
- [14] Śmietana Z., Szpendowski J., Soral-Śmietana M., Świgoń J.: Modification of potato starch by extrusion. *Acta Ac. Agric. Technic. Olst., Technol. Alim.*, 1996, **28**, 3.

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF EXTRUDATES CONTAINING WHEAT COMPONENTS

### S u m m a r y

The objective of the study was to determine the effect of the following factors on the dynamic viscosity coefficient of water slurries of extrudates: wheat components added, moisture content of raw material, temperature distribution profile in a barrel, and die diameter. Rheological properties were measured using a Mettler Rheomat RM 180. A mixture of corn semolina and wheat components (wheat bran and wheat meal) was extruded using a twin screw extrusion-cooker, type 2S-9/5. For the investigated ranges of process parameters and raw material features, it was possible to obtain stable working conditions even when the content of the above indicated components was 80%. On the basis of viscosity curves representing a relationship between the viscosity and the wheat components content, it was evidenced that there existed a high potential for modifying viscosity of slurries in a range from 0.011 Pa·s to 0.018 Pa·s. The extrudates containing 80% of wheat components (meal to bran rate = 1:1) showed the highest viscosity. Furthermore, it was stated during the ensuing investigations that the viscosity of slurries highly depended on the process temperature. An increase in the temperature during the extrusion process caused a decrease in the suspension viscosity. The highest viscosity (0.016 Pa·s) was obtained when the temperature distribution in the extruder barrel, was as follows: 80/100/120/110/130°C. This fact confirmed a general rule that higher temperatures caused a more intense depolymerization of starch, and, in the consequence, a decrease in the viscosity. Additionally, slight changes were stated in the viscosity of water slurries of extrudates produced at different levels of raw material moisture. This phenomenon could be attributed to the specific construction of the counter-rotating extrusion-cooker used to perform investigations since the duration time of the material staying in it had a rigid time distribution characteristic.

**Key words:** extrusion, viscosity, wheat bran, wheat meal ☒