

publikacje nie omawiają dokładnie parametrów stosowanych przy ocenie ekstrudatów [Rzedzicki 1996; Rzedzicki i in. 2001]. Taką sytuację obserwuje się także przy określaniu współczynnika rozpuszczalności suchej masy – WSI (Water Solubility Index), uznawanego przez niektórych autorów za miarę intensywności procesu ekstruzji. Wzrost temperatury procesu oraz wzrost energochłonności procesu powodują zwiększoną dekstrynizację amylopektyny i amylozy, w wyniku której wzrasta wartość WSI [Colonna i in. 1989; Singh i in. 1997; Sobota 2003].

Celem badań było ustalenie wpływu przeciążeń wirówki i czasu wirowania na intensywność rozdziału zawiesiny i stopień rozpuszczalności suchej masy (WSI) ekstrudatu.

METODY

Materiał badawczy stanowiły ekstrudaty uzyskane z mieszanki kaszki kukurydzianej, razowej mąki lędźwianowej i soli kuchennej (tab. 1). Surowce ekstrudowano na ekstruderze jednoślimakowym S-45 (L:D = 12:1, stopień sprężenia ślimaków 3:1) produkcji „Metalchem” w Gliwicach. Zastosowano średnicę otworu matrycy 3,5 mm, temperaturę sekcji cylindra 140/160/120°C.

Tabela 1. Model doświadczenia
Table 1. Experimental design

Próba Sample	Kaszka kukurydziana Maize semolina %	Lędźwian Grass pea %	Sól Salt % wag	Wilgotność Moisture %
0	100	–	1	13
1	90	10	1	12
2	90	10	1	13
3	90	10	1	14
4	90	10	1	15
5	90	10	1	16
A	97	3	1	13
B	94	6	1	13
C	91	9	1	13
D	88	12	1	13
E	85	15	1	13
F	82	18	1	13
G	79	21	1	13

Określano podatność ekstrudatów na rozpuszczanie, czego obrazem jest współczynnik rozpuszczalności suchej masy (WSI). WSI oznaczano zmodyfikowaną metodą wirówkową AACC 88-04 [Approved Methods of the Ameri-

can Association of Cereal Chemists (AACC) 1983]. Odważano określoną ilość uprzednio rozdrobnionej próby ekstrudatu i zalewaną ją wodą destylowaną w probówce wirówkowej. Zawiesinę mieszano przez 5 minut, po czym poddawano procesowi wirowania. Do badań użyto wirówki T-24D z probówkami o pojemności 50 ml. Stopień rozpuszczalności suchej masy określano na podstawie zawartości suchej masy w płynie nadosadowym i obliczano z wzoru:

$$\text{WSI} = \frac{M_s \cdot (V_w/V_s)}{m}$$

gdzie: M_s – sucha masa płynu nadosadowego (g), m – sucha masa próby (g), V_w – całkowita objętość wody (cm^3), V_s – objętość pobranej do oznaczeń cieczy nadosadowej (cm^3).

W badaniach stosowano różne przeciążenia: 2200 g, 5000 g, 9000 g, 14000 g i 20000 g. Stosownie do przeciążeń obliczano wymagane obroty wirówki. Dla każdego przeciążenia wirówki stosowano także zmienny czas wirowania prób (5, 15 i 25 minut).

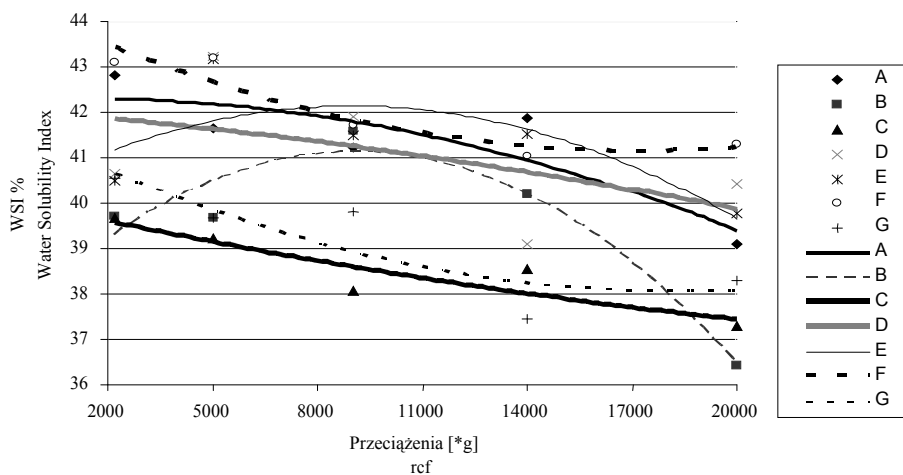
WYNIKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu różnych przeciążeń, a także czasu wirowania na dokładność rozdziału zawiesin i uzyskiwane wartości współczynnika rozpuszczalności suchej masy. Porównanie WSI dla surowców (tab. 2) ze współczynnikiem rozpuszczalności suchej masy mieszanin tych surowców poddanych procesowi ekstruzji (ryc. 1, ryc. 2) wskazuje na wielokrotny i wyraźny wzrost tego współczynnika po procesie ekstruzji. Tak znaczny wzrost współczynnika rozpuszczalności suchej masy może być wynikiem degradacji molekularnej, głównie biopolimerów skrobiowych obecnych w surowcu. Konieczne jest więc opracowanie dokładnej metody pomiaru, umożliwiającej śledzenie intensywności tych przemian.

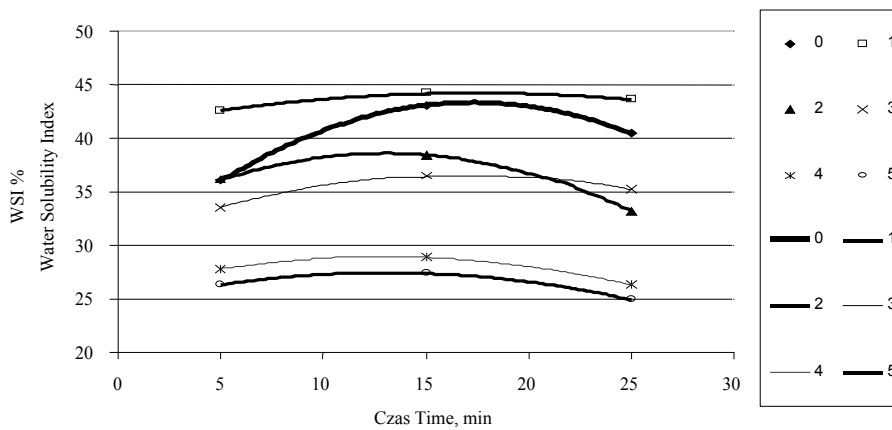
Badania oznaczalności WSI rozpoczęto przy zastosowaniu zmiennych przeciążeń wirówki, począwszy od 800 g – 3 tys. obr/min przez 15 minut. Nie spowodowało to jednak całkowitego strącenia zawiesiny. Ciecz nadosadowa nie pozwalała się zlać z nad osadu. Zwiększenie przeciążenia do 1400 g – 4 tys. obr/min nie spowodowało również całkowitego strącenia zawiesiny. Dopiero przeciążenie 2200 g umożliwiło oddzielenie płynu nadosadowego od osadu. Jednak nie ze wszystkich probówek wirówki płyn nadosadowy zlewał się dobrze. Zastosowano więc wyższe przeciążenia, wynoszące odpowiednio 5000 g, 9000 g, 14000 g, 20000 g. Wirowanie prób przy przeciążeniach powyżej 20000 g powodowało odkształcanie probówek wirówkowych. Z tego powodu wyników tego poziomu nie umieszczano na rycinach.

Tabela 2. Wyniki pomiarów WSI surowców
 Table 2. The results of measurements the Water Solubility Index

Surowiec Raw material	WSI Water Solubility Index %
Kaszka kukurydziana Maize semolina	5,80
Lędwian Grass pea	22,64



Rycina 1. Wpływ przeciążeń wirówki na WSI ekstrudatów
 Figure 1. Influence of changing relative centrifuges force on the WSI of the extrudate



Rycina 2. Wpływ zmiennego czasu wirowania na WSI ekstrudatów
 Figure 2. Influence of changing time rotation on the WSI of the extrudate

Może się wydawać, że do dokładnego określenia WSI wystarczające jest zastosowanie przeciążeń wirówki na poziomie 2200 g. Dla prób A, C, F i G WSI wynosiło odpowiednio 42,8%, 39,6%, 43,1% oraz 40,5%. Wyższe przeciążenia nie powodowały znaczących zmian wartości współczynnika rozpuszczalności suchej masy, zachowując jednocześnie liniowy charakter tych zmian, zgodny z oczekiwaniami – wyższe przeciążenia, lepsze rozdzielanie zawiesiny, a więc i niższe wartości WSI. Tym tendencjom nie odpowiadają próby B, D i E, mimo iż są zbliżone składem surowcowym i parametrami procesu do prób poprzednich. Najwyższy współczynnik rozpuszczalności suchej masy uzyskano tu przy przeciążeniach na poziomie 9000 g, krzywe zmienności mają kształt paraboli. Jest to spowodowane niestabilnością struktur części osadu, które przy wyższych wartościach siły odśrodkowej przechodzą do płynu nadosadowego. Czarnecki i in. [2000] w swych badaniach nad WSI dla ekstrudatów z udziałem fasoli i grochu, zwanych przez nich wskaźnikiem ekstraktywności, stosowali także przeciążenia 9000 g.

Tabela 3. Równania regresji i współczynniki determinacji
Table 3. Regression equations and coefficients of determination

Próba Sample	Równanie regresji Regression equations	Współczynnik determinacji Coefficient of determination
A	$y = -0,0256x^2 + 0,2233x + 41,98$	$R^2 = 0,7261$
B	$y = -0,1241x^2 + 2,2403x + 31,068$	$R^2 = 0,8328$
C	$y = 0,0005x^2 - 0,2272x + 40,746$	$R^2 = 0,8306$
D	$y = -0,0445x^2 + 0,7044x + 39,023$	$R^2 = 0,3239$
E	$y = -0,0818x^2 + 1,5113x + 35,327$	$R^2 = 0,7050$
F	$y = 0,0133x^2 - 0,4954x + 45,54$	$R^2 = 0,8280$
G	$y = 0,0122x^2 - 0,513x + 42,908$	$R^2 = 0,7337$

Obok zmiennych obrotów wirówki stosowano także zmienny czas wirowania (5, 15 i 25 minut) przy przeciążeniach wirówki 2200 g. We wszystkich próbach współczynnik rozpuszczalności suchej masy był wyższy przy czasie wirowania 15 minut w porównaniu z WSI przy wirowaniu przez 5 minut (ryc. 2). Na przykład dla próby 3 przy 5 minutach wirowania WSI wynosił 36,16%, a przy 15 minutach wirowania był równy 38,49%. Zaobserwowano także, iż przy wzroście czasu wirowania do 25 minut współczynnik rozpuszczalności suchej masy ulegał spadkowi, np. dla próby 3 wynosił 33,16%. Tak więc nie tylko wysokie przeciążenia, ale także wydłużony do 25 minut czas wirowania powoduje rozpad części osadu i przechodzenie do płynu nadosadowego. Badane próby ekstrudatu różniły się wilgotnością surowca w czasie ekstruzji. Nie zaobserwowano wpływu wilgotności na układ krzywej zmienności WSI. Obserwowano natomiast znaczące zmiany WSI w wyniku zmian wilgotności ekstrudowanej masy (ryc. 2). Ekstrudaty o najniższej wilgotności charakteryzowały się najwyższym współczynnikiem rozpuszczalności suchej masy.

Tabela 4. Równania regresji i współczynniki determinacji
Table 4. Regression equations and coefficients of determination

Próba Sample	Równanie regresji Regression equations
0	$y = -0,0486x^2 + 1,6805x + 28,861$
1	$y = -0,0116x^2 + 0,3914x + 40,97$
2	$y = -0,0166x^2 + 0,6244x + 30,827$
3	$y = -0,0383x^2 + 1,0001x + 32,125$
4	$y = -0,0179x^2 + 0,4619x + 25,923$
5	$y = 0,018x^2 + 0,4696x + 25,426$

Różnokierunkowość uzyskanych zmian WSI w wyniku zmiennych przeciążeń wymaga prowadzenia dalszych badań w tym zakresie. Należy bowiem doprecyzować, jakie warunki przeciążeń gwarantują wiarygodny pomiar WSI i które wartości WSI są rzeczywistą miarą intensywności procesu ekstruzji.

WNIOSKI

1. Proces ekstruzji mieszanek zbożowych wpływa znacząco na wzrost stopnia rozpuszczalności suchej masy (WSI).
2. Optymalnym czasem wirowania przy oznaczaniu WSI ekstrudatów kukurydzianych jest 15 minut.
3. Nie uzyskano jednoznacznego wpływu przeciążeń wirówki na przebieg zmienności wartości współczynnika rozpuszczalności suchej masy.
4. Konieczne są dalsze badania nad doprecyzowaniem tej metody pomiaru WSI.

PIŚMIENNICTWO

- Colonna P., Tayeb J., Mercier C. 1989. Extrusion cooking of starch and starchy products. Extrusion cooking, AACC, Inc. St. Paul, Minesota, USA, 247–319.
- Czarnecki Z., Czarnecka M., Nowak J., Kiryluk J. 2000. Wykorzystanie wybranych frakcji nasion grochu i fasoli po rozdzieleniu pneumatycznym w produktach ekstrudowanych. *Żywność. Technologia. Jakość.* 2, 49–58.
- Rzedzicki Z. 1996. Studia nad procesem ekstruzji roślinnych surowców białkowych. Rozprawa habilitacyjna. WAR w Lublinie.
- Rzedzicki Z., Zieliński H. 2001. Reduct/oxidized glutathione index as a tool for food manirarity oxidative stress during extrusion cooking. *J Food Preserv.* 25, 197–206.
- Singh N., Smith A.C. 1997. A comparision of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *J. Food Eng.* 34, 15–32.
- Sobota A. 2003. Badania procesu ekstruzji mieszanin o podwyższonej zawartości włókna pokarmowego. Praca doktorska, AR w Lublinie.