

umożliwia kontrolowaną, hydrotermiczną obróbkę surowców o zróżnicowanym składzie chemicznym (podwyższonej zawartości tłuszczu, białka, włókna pokarmowego). Dzięki tej technologii możliwe jest przetwarzanie surowców w szerokim przedziale wilgotności, temperatury, i co jest niezmiernie istotne, w dużym stopniu możliwe jest kontrolowanie rozkładu czasu przebywania materiału w ekstruderze.

Przeprowadzone badania dotyczyły możliwości wykorzystania technologii ekstruzji dwuślimakowej do produkcji wyrobów o podwyższonej zawartości włókna pokarmowego. W czasie procesu, w wyniku jednoczesnego oddziaływania wysokiej temperatury, ciśnienia, wody i sił ścinających, obrabiany surowiec jest intensywnie mieszany, sprężany, uplastyczniany, aż do upłynnienia masy włącznie. Dzięki temu możliwe jest niwelowanie niekorzystnego oddziaływania włókna pokarmowego na cechy sensoryczne żywności.

METODY

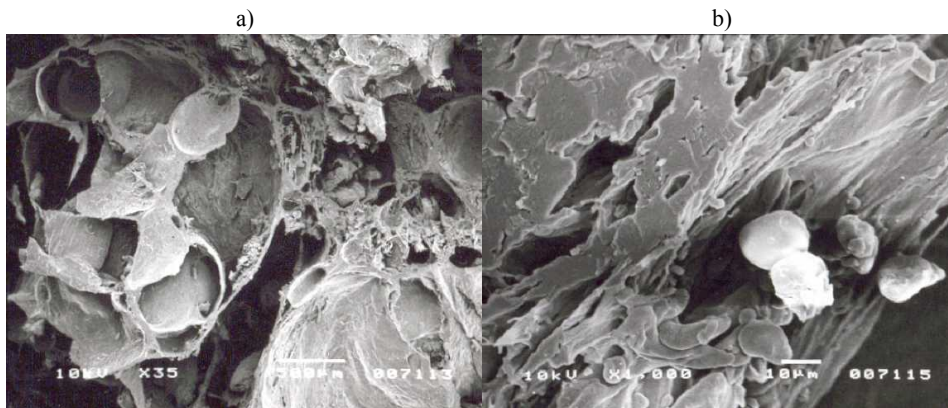
Surowcami stosowanymi w badaniach były: komercyjnie dostępna kaszka kukurydziana i otręby pszenne, pozyskane w wyniku przemiału pszenicy wysokoglutenu odmiany Henika (wyciąg mąki stanowił 50%). Z wymienionych surowców sporządzano mieszanki, w których otręby stanowiły od 20 do 80%. Mieszanki dowlżano do wymaganej wilgotności, mieszano w mieszarce bębnowej i kondycjonowano w temperaturze pokojowej przez 12 h. Tak przygotowane próby ekstrudowano, wykorzystując ekstruder dwuślimakowy, przeciwbieżny 2S 9-5, produkcji Metalchem Gliwice. Zmiennymi parametrami procesu były: rozkład temperatury w cylindrze ekstrudera, wilgotność surowca, średnica matrycy. Uzyskane produkty badano pod kątem następujących właściwości fizycznych: stopnia ekspandowania promieniowego [Rzedzicki 1996a], gęstości właściwej, [Rzedzicki 1996b], stopnia rozpuszczalności suchej masy (WSI). Określono również wodochłonność nierozdrobnionych ekstrudatów metodą odciekową wg Jao [1985] oraz zdolność do absorbowania wody (WAI) przez rozdrobnione produkty metodą wirówkową [AACC 88-04]. Przebadano mikrostrukturę wybranych ekstrudatów. Badania mikrostruktury przeprowadzono na skaningowym mikroskopie elektronowym JSM 5200 w Instytucie Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN w Olsztynie.

WYNIKI

Zastosowany w badaniach ekstruder dwuślimakowy, przeciwbieżny 2S 9-5 produkcji Metalchem Gliwice, umożliwia przetwarzanie mieszanek zawierają-

cych w swoim składzie maksymalnie 80% otrąb pszennych. Dalszy wzrost udziału otrąb powodował znaczne trudności z pobieraniem materiału przez ślimaki ekstrudera. Dodatkowo niska gęstość usypowa, charakteryzująca otręby, wpływała na niski stopień wypełnienia przestrzeni roboczej w cylindrze ekstrudera. W konsekwencji przetwarzany materiał ulegał przypalaniu, co powodowało destabilizację procesu.

Przeprowadzone badania dowiodły, że udział otrąb pszennych w ekstrudowanej mieszance w istotny sposób wpływa na formę i strukturę ekstrudatów. Dodatek tego wysokobłonnikowego komponentu do kaszki kukurydzianej w ilości 20–50% umożliwiał otrzymanie wyrobów o zwartej, „sklejonej” strukturze. Wyroby zawierające 20–30% otrąb charakteryzują się wysokim stopniem ekspansji promieniowej (19,32–10,73) i niską gęstością właściwą, mieszającą się w przedziale 93,01–184,42 kg/m³. Wyroby te to typowe snaki, o stosunkowo delikatnej strukturze, zbliżonej budową do „plastra miodu”. Ekstrudaty zawierające 40–50% otrąb pszennych posiadają mniej wyekspandowaną, zbitą i gęściejszą strukturę. Stopień ekspansji tych wyrobów mieści się w przedziale 3,2–4,9, natomiast gęstość właściwa wynosi 399,9–489,4 kg/m³. Na zdjęciach mikrostruktury (ryc. 1a) widoczne są liczne, małe komórki powietrzne, o wymiarach ok. 100 µm, ograniczone charakterystycznie postrzępionymi ścianami, o grubości ok. kilkunastu µm. Powiększenie ×1000 (ryc. 1b) ukazuje bezładność struktury ekstrudatów. Widoczne są tu fragmenty nieupłynnionej masy, oblane i posklejane strukturotwórczym lepiszczem kaszki kukurydzianej. Otrzymane wyroby mają postać twardych chrupkich przekąsek, nadających się jeszcze do bezpośredniego spożycia.



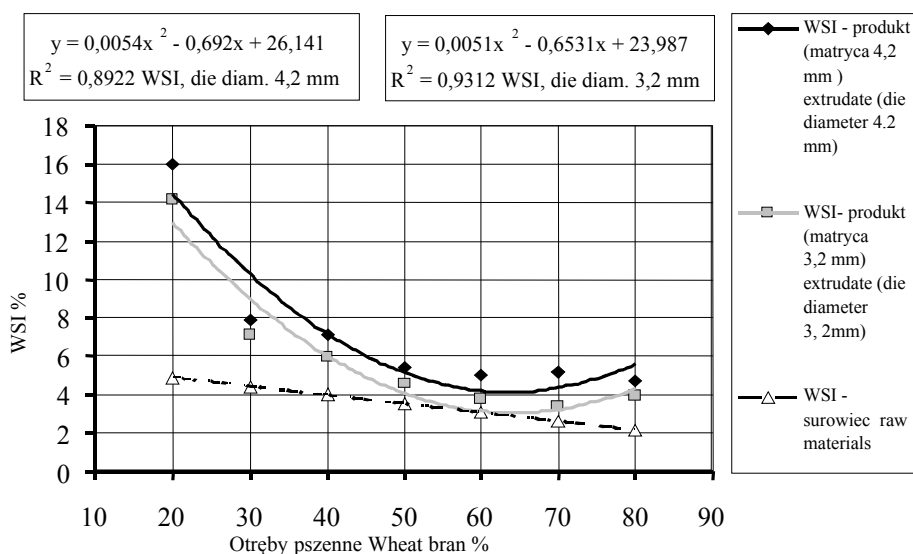
Rycina 1. Makro- i mikrostruktura ekstrudatów z 40% udziałem otrąb pszennych: a) pow. ×35
 b) pow. ×1000 (temp. 170°C, wilgotność surowca 14%, średnica matrycy 4,2 mm)
 Figure 1. Macro- and microstructure of extrudate with 40% wheat bran: a) zoom ×35,
 b) zoom ×1000 (temp. 170°C, moisture content 14%, die diameter 4.2 mm)

Ekstrudaty zawierające wyższy od 50% udział otrąb pszennych posiadają niesklejoną, rozkruszoną strukturę. W zależności od wielkości udziału komponentu wysokobłonnikowego i warunków procesu ekstruzji wyroby przybierają postać gruboziarnistego grysu bądź drobnoziarnistych kaszek. Zgodnie z przyjętą metodyką niemożliwe więc było określenie stopnia ekspandowania promieniowego i gęstości właściwej tych produktów. Ich mało atrakcyjna forma i struktura sprawiają, że produkty te nie nadają się do bezpośredniego spożycia, mogą natomiast stanowić doskonałe surowce bazowe do produkcji błyskawicznych kaszek, kleików, dodatków kształujących właściwości funkcjonalne i jednocześnie poprawiających walory zdrowotne żywności.

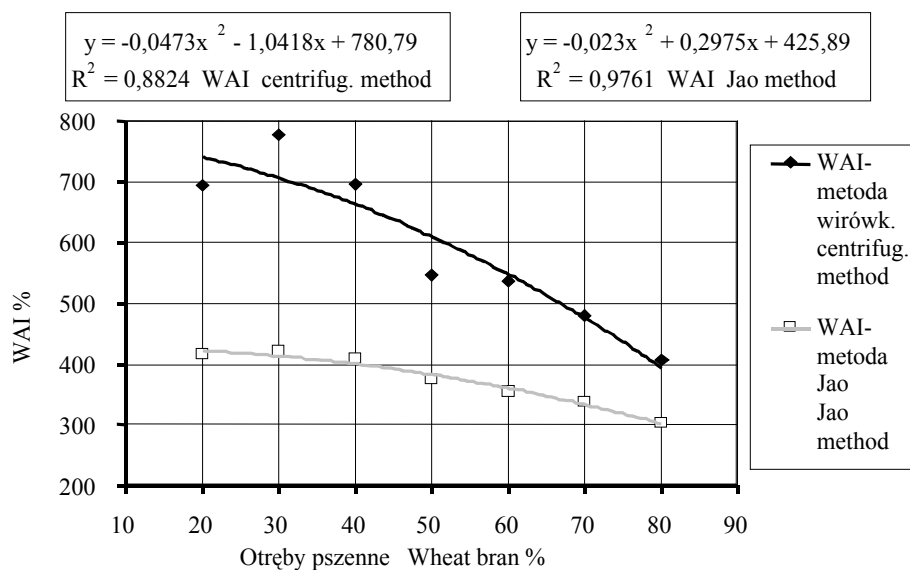
Uzyskane wyniki nie są zgodne z wynikami badań Gambuś i in. [2000]. Cytowani autorzy, ekstrudując różnorodne surowce otrębiaste, m.in. otręby pszenne, żytnie i pszenżytnie dowodzą, że na bazie wyłącznie tych surowców, wzbogaconych jedynie 0,5% dodatkiem soli lub 2% dodatkiem przyprawy smakowej, można uzyskać produkty w formie przekąsek, o akceptowalnej skleionej strukturze. Stopień ekspandowania ekstrudatów z 98% udziałem otrąb pszennych i 2% udziałem przyprawy smakowej wynosił 2,27. Jak podkreślają autorzy, produkty te cechują się stosunkowo niską twardością oraz znaczną podatnością na ściskanie i ścinanie.

Przeprowadzone badania wykazały, że udział otrąb pszennych w ekstrudatach wpływa na stopień rozpuszczalności suchej masy (WSI). Wartość WSI produktów zawierających 20% otrąb pszennych wynosiła 16,02%. Wraz ze wzrostem udziału otrąb do poziomu 80% obserwujemy ok. 3,5-krotne obniżenie stopnia rozpuszczalności suchej masy ekstrudatów (ryc. 2). Podobne tendencje odnotowano badając stopień rozpuszczalności suchej masy ekstrudatów w funkcji zmiennej zawartości innych surowców wysokobłonnikowych, m.in. łusek grochu [Rzedzicki i in. 2004]. Według Smitha [1992] wartość WSI ekstrudatów warunkowana jest w głównej mierze zawartością i stopniem przetworzenia skrobi. Autor podkreśla, że szczególnie istotne znaczenie w kreowaniu wartości WSI produktów ekstrudowanych ma zawartość amylopektyny w przetwarzanym materiale. To ten rozgałęziony polimer ulega w największym stopniu degradacji w czasie procesu. Obniżenie masy molekularnej polimerów skrobiowych, w szczególności amylopektyny, jest według Smitha [1992] główną przyczyną wzrostu rozpuszczalności suchej masy surowców ekstrudowanych. Dlatego też analizując stopień rozpuszczalności suchej masy surowców i otrzymanych na bazie tych surowców ekstrudatów, największe różnice WSI widoczne są dla prób zawierających 20% otrąb pszennych (ryc. 2).

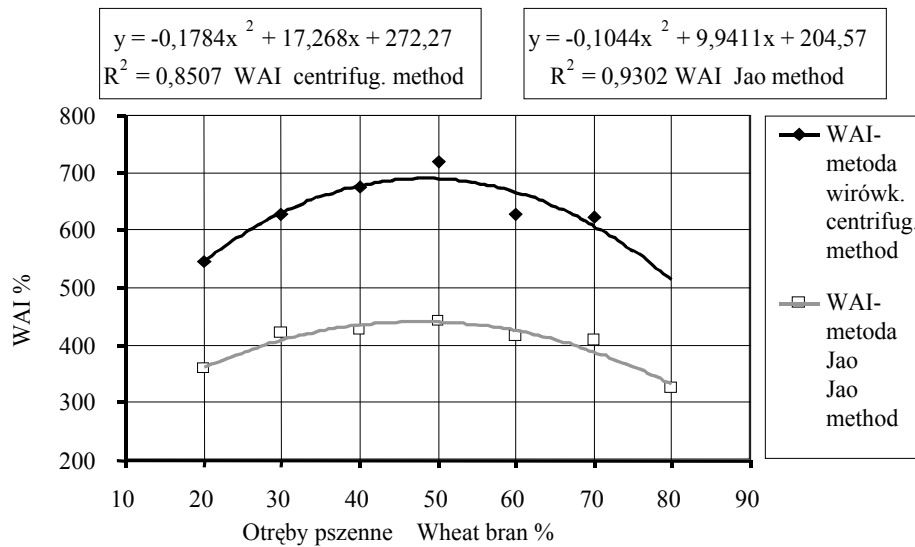
Ciekawe tendencje odnotowano analizując wodochłonność ekstrudatów w funkcji zmiennego udziału otrąb pszennych. W przypadku prób ekstrudowa-



Rycina 2. Wpływ udziału otręb pszennych na stopień rozpuszczalności suchej masy (WSI) surowca i ekstrudatów (średnica matrycy: 4,2 mm i 3,2 mm, wilgotność 14%, temp. 170°C)
 Figure 2. Influence of wheat bran on the water solubility index (WSI) of the raw materials and extrudate (die diameter 4.2 mm and 3.2 mm, moisture content 14%, temp. 170°C)

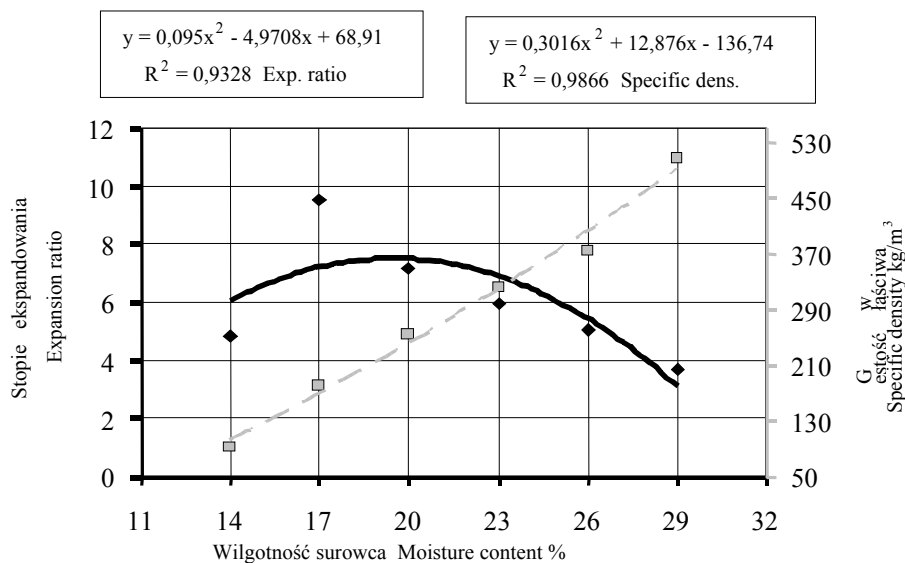


Rycina 3. Wpływ udziału otręb pszennych na wodochłonność ekstrudatów kukurydzianych (średnica matrycy 4,2 mm, wilgotność surowca 14%, temp. 170°C)
 Figure 3. Influence of wheat bran on the water absorption index (WAI) the extrudate with 40% wheat bran (die diameter 4.2 mm, moisture content 14%, temp. 170°C)



Rycina 4. Wpływ udziału otrąb pszennych na wodochłonność ekstrudatów (średnica matrycy 3,2 mm, wilgotność surowca 14%, temp. 170°C)

Figure 4. Influence of wheat bran on the water absorption index (WAI) the extrudate (die diameter 3.2 mm, moisture content 14%, temp. 170°C)



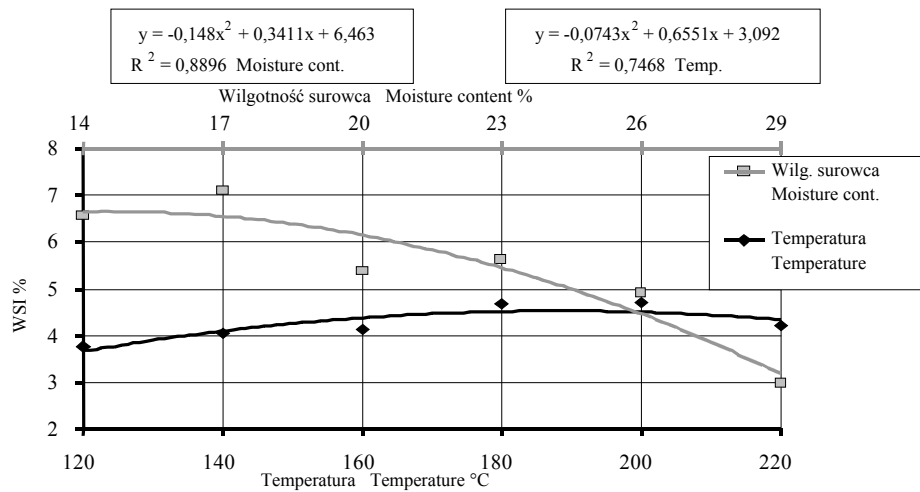
Rycina 5. Wpływ wilgotności surowca na stopień ekspandowania promieniowego i gęstość właściwą ekstrudatów z 40% udziałem otrąb pszennych (średnica matrycy 4,2 mm, temp. 170°C)

Figure 5. Influence of moisture content of the raw material on radial expansion and specific density the extrudate with 40% wheat bran (die diameter 4.2 mm, temp. 170°C)

nych przy zastosowaniu matrycy o średnicy 4,2 mm (ryc. 3) maksymalną wodochłonnością, wynoszącą 778,69% (wirówkowa metoda pomiaru), charakteryzowały się próby z 30% udziałem otrąb pszennych. Dalszy wzrost udziału komponentu wysokobłonnikowego wpływał na obniżenie WAI ekstrudatów. Natomiast w przypadku prób pozyskanych przy zastosowaniu matrycy o mniejszej średnicy – 3,2 mm (ryc. 4) najwyższą wodochłonnością 718,13%, cechowały się próby z 50% udziałem otrąb pszennych.

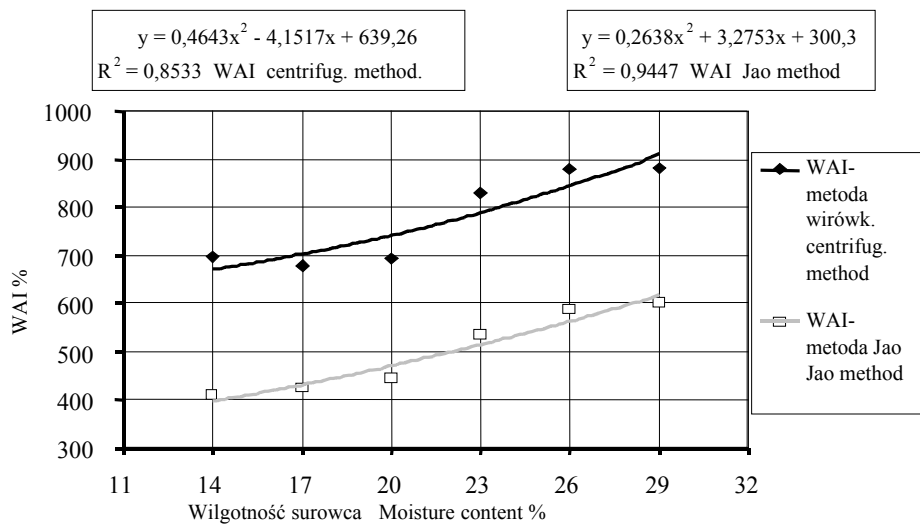
Stosując mieszankę komponentów, zawierającą 40% otrąb pszennych i 60% kaszki kukurydzianej przeanalizowano wpływ parametrów procesu, m. in. temperatury, wilgotności surowca i średnicy matrycy ekstrudera na właściwości fizyczne otrzymanych produktów. Badania dowiodły, że istotnym czynnikiem kształującym właściwości fizyczne produktów ekstrudowanych jest wilgotność przetwarzanego surowca. Stwierdzono, że wzrost wilgotności surowca z 14% do 29% powoduje obniżenie stopnia ekspandowania promieniowego ekstrudatów z 4,86 do 3,68 i jednocześnie wzrost gęstości właściwej z 93,01 kg/m³ do ok. 506,31 kg/m³ (ryc. 5). Badania dowiodły również znaczący wpływ wilgotności przetwarzanego surowca na wartość współczynnika rozpuszczalności suchej masy produktów ekstrudowanych (ryc. 6). Wraz ze wzrostem wilgotności z 14% do 29% wartość WSI ekstrudatów zmniejszała się z 6,56% do 2,96%. Podobne tendencje odnotowali Singh i in. [1997], Smith [1992] oraz Colonna i in. [1989]. Autorzy sugerują, że w wyniku wzrostu wilgotności surowca zmniejsza się lepkość upłynnionej masy i tym samym mniejsza jest intensywność oddziaływania sił ścinających na obrabiany materiał. Zmniejsza się więc stopień dekstrynizacji polimerów skrobiowych, kształtujący wartość WSI. Wielu autorów doszukuje się zależności pomiędzy stopniem rozpuszczalności suchej masy ekstrudatów a ich zdolnością do absorbowania wody. Smith [1992] twierdzi, że obniżenie stopnia dekstrynizacji skrobi wpływa na zwiększoną zdolność do absorbowania wody przez polimery skrobiowe. Autor wskazuje na odwrotnie proporcjonalną zależność pomiędzy stopniem rozpuszczalności suchej masy (WSI) a wodochłonnością ekstrudatów (WAI). Przeprowadzone badania potwierdzają tendencje odnotowane przez Smitha [1992]. Wraz ze wzrostem wilgotności przetwarzanego materiału zmniejsza się stopień rozpuszczalności suchej masy i jednocześnie widoczny jest wzrost wodochłonności ekstrudatów z udziałem otrąb pszennych (ryc. 7).

Właściwości fizyczne ekstrudatów kształtuje również temperatura ekstruzji. Wzrost temperatury procesu ze 120°C do 220°C powoduje wzrost stopnia ekspandowania promieniowego z 3,35 do 5,30 i obniżenie gęstości właściwej z 587,01 kg/m³ do 336,22 kg/m³ (ryc. 8). Optymalną temperaturą ekstruzji wydaje się temperatura na poziomie 200°C. Wyroby przetworzone w tej temperaturze charakteryzują się najwyższym stopniem ekspandowania promieniowego, wynoszącym 6,92 i jednocześnie najniższą gęstością – odpowiednio 258,32 kg/m³ (ryc. 8).



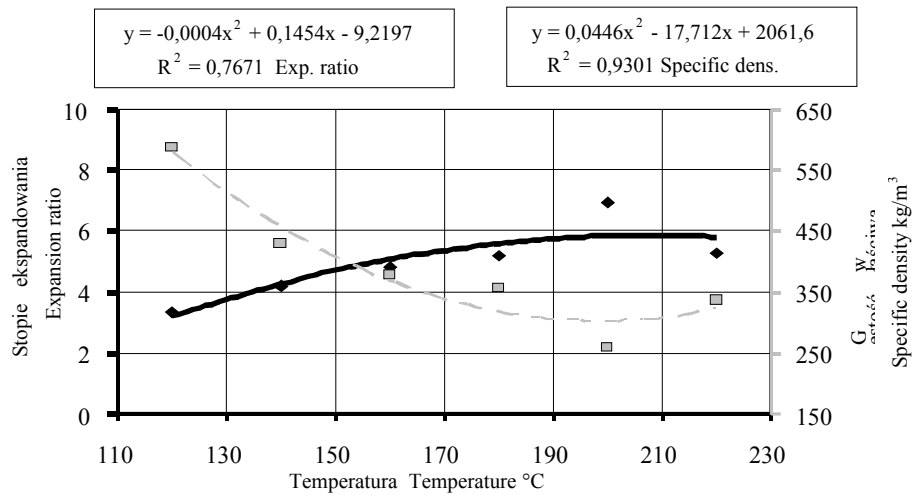
Rycina 6. Wpływ wilgotności surowca i temperatury procesu na stopień rozpuszczalności suchej masy (WSI) ekstrudatów z 40% udziałem otręb pszennych (średnica matrycy 4,2 mm)

Figure 6. Influence of moisture content of the raw material and barrel temperature on the water solubility index (WSI) the extrudate with 40% wheat bran (die diameter 4.2 mm)

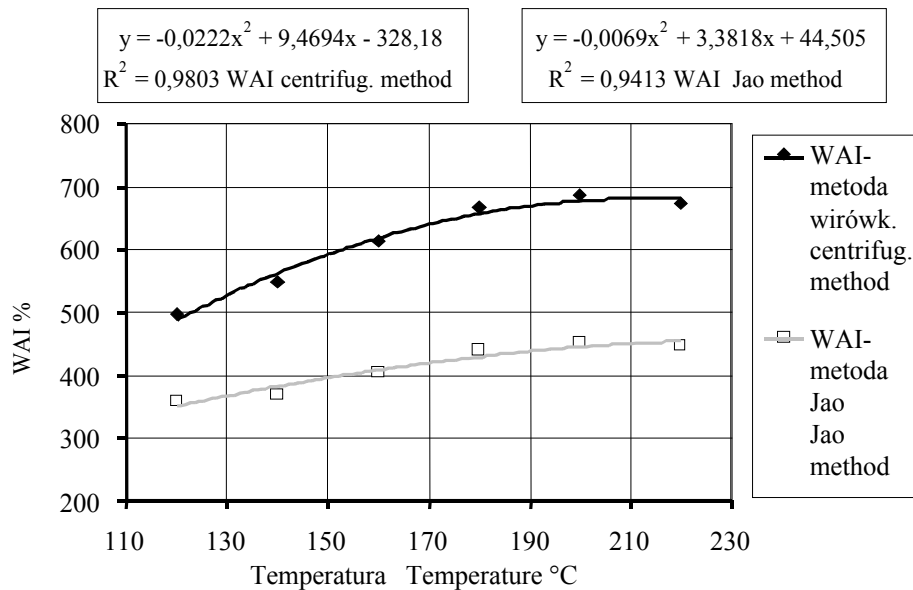


Rycina 7. Wpływ wilgotności surowca na wodochłonność ekstrudatów kukurydzianych z 40% udziałem otręb pszennych (średnica matrycy 4,2 mm, temp. 170°C)

Figure 7. Influence of moisture content of the raw material on the water absorption index (WAI) the extrudate with 40% wheat bran (die diameter 4.2 mm, temp.170°C)



Rycina 8. Wpływ temperatury ekstruzji na stopień ekspandowania promieniowego i gęstość właściwą ekstrudatów kukurydzianych z 40% udziałem otręb pszennych (średnica matrycy 4,2 mm, wilgotność surowca 14%)
 Figure 8. Influence of barrel temperature on the radial expansion and the specific density the extrudate with 40% wheat bran (die diameter 4.2 mm, moisture content 14%)



Rycina 9. Wpływ temperatury ekstruzji na wodochłonność ekstrudatów kukurydzianych z 40% udziałem otręb pszennych (średnica matrycy 4,2mm, wilgotność surowca 14%)
 Figure 9. Influence of barrel temperature on on the water absorption index (WAI) the extrudate with 40% wheat bran (die diameter 4.2 mm, moisture content 14%)

Temperatura ekstruzji wpływa także na wartość współczynnika rozpuszczalności suchej masy ekstrudatów. W miarę wzrostu temperatury ze 120°C do 220°C obserwujemy wzrost stopnia rozpuszczalności suchej masy produktów o ok. 0,4% (ryc. 6). Podobne tendencje odnotowali Singh i in. [1997], badając WSI ekstrudatów pozyskanych na bazie skrobi pszennej.

Badania Singh i in. [1997] ukazują również wpływ temperatury procesu na wartość WAI ekstrudatów pszennych. Odnotowane tendencje zależą w dużej mierze od wilgotności przetwarzanego surowca. Wzrost temperatury procesu ze 125°C do 175°C przy wilgotności surowca 22% wpływa wprost proporcjonalnie na wodochłonność ekstrudatów pszennych. Natomiast w przypadku ekstruzji surowców o wilgotności 28% maksymalną wodochłonnością charakteryzowały się próby przetwarzane w temperaturze 145°C.

Przeprowadzone badania wykazały natomiast, że wzrost temperatury ekstruzji mieszanek z 40% udziałem otrąb pszennych (wilg. 14%) powoduje znaczny wzrost wodochłonności ekstrudatów (ryc. 9). Tendencja ta jest trudna do wytlumaczenia i nie znajduje potwierdzenia w doniesieniach literaturowych. Najczęściej wzrastająca temperatura ekstruzji, prowadząc do zwiększonej degradacji polimerów skrobiowych i wzrostu WSI ekstrudatów, przyczynia się do obniżenia zdolności absorbowania wody przez produkty. Takie tendencje odnotowali m.in. Rzedzicki i in. [1999], badając wpływ temperatury procesu na wodochłonność różnorodnych produktów ekstrudowanych.

Zaprezentowane wyniki świadczą o znacznych możliwościach modyfikowania właściwości fizycznych ekstrudatów poprzez zmianę parametrów procesu ekstruzji (wilgotności surowca, temperatury ekstruzji, średnicy matrycy).

WNIOSKI

1. Po zastosowaniu ekstrudera dwuślimakowego 2S 9-5 produkcji Metalchem Gliwice możliwe jest przetwarzanie mieszanek z maksymalnie 80% udziałem otrąb pszennych.
2. Udział otrąb pszennych w ekstrudowanej mieszance warunkuje formę i strukturę wyrobów ekstrudowanych.
3. Parametry procesu ekstruzji znacząco wpływają na jakość i właściwości fizyczne ekstrudatów z udziałem otrąb pszennych.

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.
- Gambuś H., Golachowski A., Bala-Piasek A., Nowotna A., Surówka K., Mikulec A., Bania M. 2000. Ocena jakości ekstrudowanych chrupek z otrąb zbożowych. *Żywność Technologia Jakość*. 4, 54–63.
- Jao C.Y., Chen A.H., Goldstein W. E. 1985. Evaluation of corn protein concentrate: extrusion study. *J. Food Sci.* 50, 1275–1280.
- Rzedzicki Z. 1994. New method of texture measurement of crisp food and feed. *Int. Agrophysics* 8, 661–670.
- Rzedzicki Z. 1996a. Analiza metod pomiaru ekspandowania ekstrudatów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 430, 105–111.
- Rzedzicki Z. 1996b. Studia nad procesem ekstruzji roślinnych surowców białkowych. Rozprawa habilitacyjna. AR Lublin.
- Rzedzicki Z., Sobota A. 1999. Badania nad procesem uwadniania ekstrudatów strączkowych. *Post. Tech. Przet. Spoż.* 1/2, 17–22.
- Rzedzicki Z., Szpryngiel B., Sobota A. 2000. Estimation of some chosen physical properties of extrudates obtained from corn semolina and oat bran mixtures. *Int. Agrophysics* 14, 233–239.
- Rzedzicki Z., Sobota A., Zarzycki P. 2004. The influence of pea hulls on twin screw extrusion-cooking process of cereal mixtures and the physical properties of the extrudate. *Int. Agrophysics*. 18 (in press)
- Singh N., Smith A.C. 1997. A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *J. Food Eng.* 34, 15–32.
- Smith A. C. 1992. Studies on the physical structure of starch based materials in the extrusion cooking process. *Food Extrusion Science and Technology*. Marcel Dekker, Inc., New York, 573–618.

