

MODYFIKACJA SKROBI ZIEMNIACZANEJ METODĄ EKSTRUZJI*

Marcin Mitrus, Agnieszka Wójtowicz, Leszek Mościcki

Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Doświadczalne 44, 20-280 Lublin
e-mail: marcin.mitrus@up.lublin.pl

Streszczenie. W trakcie badań określano wpływ parametrów procesu ekstruzji na zmiany właściwości fizycznych skrobi ziemniaczanej. Proces charakteryzował się niedużą energochłonnością. Współczynnik ekspandowania ekstrudatów malał wraz ze wzrostem wilgotności surowca. Stwierdzono, że zastosowanie procesu ekstruzji powodowało wzrost wodochłonności i rozpuszczalności skrobi. Najwyższa wartość współczynnika wodochłonności (WAI) wynosiła 569%, a współczynnika rozpuszczalności w wodzie (WSI) 43%.

Słowa kluczowe: skrobia ziemniaczana, ekstruzja, wodochłonność, rozpuszczalność

WSTĘP

Skrobia natywna jest używana w wielu gałęziach przemysłu jednak z powodu licznych wad (np. nierozpuszczalność w zimnej wodzie) jej zastosowanie jest mocno ograniczone. Wady skrobi natywnej można ograniczyć lub nawet wyeliminować, poprzez jej modyfikacje różnymi metodami.

Najprostszą metodą fizycznej modyfikacji skrobi jest po prostu obróbka termiczna lub ciśnieniowo-termiczna. W wyniku ogrzewania ulega zniszczeniu struktura ziaren skrobiowych i zachodzi częściowe kleikowanie, dochodzi do rozrywania wiązań wodorowych, stabilizujących trzecio- i czwartorzędową strukturę konformacyjną makrocząsteczek (van den Einde i in. 2003). W tym celu wykorzystuje się różne formy suszenia, ekstruzję lub obróbkę wysokich ciśnień (Błaszczak i in. 2005, Yan i Zhengbiao 2010).

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy Nr N N313 065936.

Technika ekstruzji, szeroko stosowana w przetwórstwie rolno-spożywczym, wywodzi się z powszechnie znanej w przemyśle tworzyw sztucznych techniki wytłaczania materiałów termoplastycznych. Ekstruzja surowców pochodzenia roślinnego polega, w ogólnym zarysie, na wytłaczaniu materiału sypkiego pod dużym ciśnieniem i przy wysokiej temperaturze. Wywołuje to w przetwarzanym materiale istotne zmiany fizykochemiczne i jakościowe. Proces ekstruzji realizowany jest w ekstruderach – urządzeniach, których głównym organem roboczym jest ślimak lub para ślimaków umieszczona w cylindrze. W trakcie obróbki ciśnieniowo-termicznej materiał jest mieszany, zagęszczany, ściskany, upłynniany i uplastyczniany w końcowej strefie aparatu. Ciśnienie wytłaczania może dochodzić do 20 MPa zaś temperatura gęstwy do 200°C. Zakres zmian fizycznych i chemicznych w obrabianych surowcach zależy w głównej mierze od przyjętych parametrów procesu ekstruzji oraz konstrukcji ekstrudera, czyli jego możliwości aplikacyjnych. Obecnie metodą ekstruzji otrzymuje się różnego rodzaju galanterię spożywczą jak np.: chrupki, przekąski, analogi mięsa, oraz karmę dla zwierząt domowych i ryb (Mościcki i in. 2007).

Celem podjętych badań było określenie wpływu parametrów procesu ekstruzji na wybrane właściwości fizyczne modyfikowanej skrobi ziemniaczanej.

METODYKA BADAŃ

Jako surowiec do badań wykorzystano skrobię ziemniaczaną typu Superior wyprodukowaną przez Przedsiębiorstwo Przemysłu Spożywczego „PEPEES” w Łomży. Wilgotność skrobi wynosiła 17%. Podczas ekstruzji stosowano różnicowaną wilgotność surowca, tj. 17, 20, 25 i 30%.

Proces ekstruzji skrobi ziemniaczanej prowadzono z zastosowaniem zmodyfikowanego ekstrudera jednoślindakowego TS-45 o $L/D = 16$. Zastosowano matrycę z jednym otworem, o średnicy 3 mm. Podczas badań zastosowano trzy temperatury procesu ekstruzji (100, 120 i 140°C) oraz zmienne obroty ślimaka (1, 1,33, 1,66 i 2 s⁻¹). Badano wpływ wilgotności surowca oraz parametrów procesu ekstruzji na stopień ekspandowania, wartość współczynnika absorpcji wody (WAI) oraz współczynnika rozpuszczalności w wodzie (WSI) uzyskiwanych ekstrudatów. Określano także energochłonność procesu ekstruzji, poprzez pomiar współczynnika jednostkowego zużycia energii mechanicznej (SME).

Współczynnik ekspandowania ekstrudatu określono jako stosunek średnicy ekstrudatu do średnicy otworu matrycy (Mościcki i in. 2007). Pomiaru wykonano w 10 powtórzeniach.

Do oznaczenia współczynnika WAI wykorzystano metodę Andersona (1970) w modyfikacji własnej. Uzyskany w procesie ekstruzji ekstrudat rozdrabniano za pomocą młynka laboratoryjnego na cząsteczki, o średnicy mniejszej, niż 0,3 mm.

Z próbki ekstrudatu, o masie 0,7 g oraz 7 ml destylowanej wody sporządzano zawiesinę, poprzez ciągłe mieszanie, w czasie 30 minut. Uzyskaną zawiesinę odwirowywano z prędkością obrotową 250 s^{-1} , przez 10 minut, w wirówce laboratoryjnej T24D. Przesącz zlewano z nad otrzymanego żelu, a następnie ważono uzyskany żel. *WAI* określano według następującego wzoru:

$$WAI = \frac{m_z}{m_s} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

gdzie: m_z – masa żelu (g), m_s – masa suchej próbki (g).

Pomiary wykonano w 3 powtórzeniach.

Współczynnik rozpuszczalności w wodzie (*WSI*) określano metodą opisaną przez Harpera (1981). Przesącz uzyskiwany podczas pomiaru współczynnika *WAI* suszono w temperaturze 110°C , do całkowitego odparowania wody. *WSI* określano według następującego wzoru:

$$WSI = \frac{m_c}{m_s} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

gdzie: m_c – masa cząstek po osuszeniu (g), m_s – masa suchej próbki (g).

Pomiary wykonano w 3 powtórzeniach.

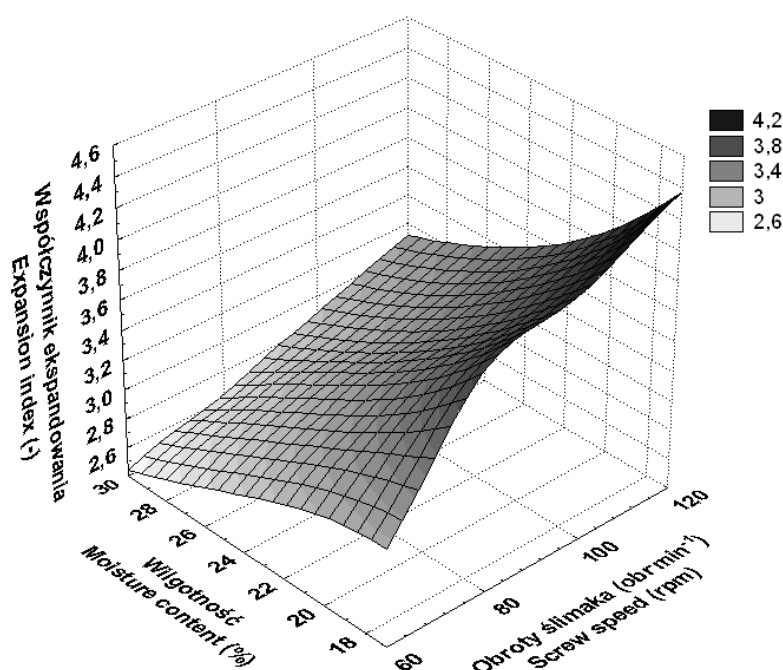
Pomiar energochłonności procesu ekstruzji przeprowadzono za pomocą watomierza, podłączonego do ekstrudera. Wyniki pomiaru konwertowano na wartości *SME* (Janssen i in. 2002, Mitrus 2005, Mitrus i Mościcki 2009).

Przeprowadzono analizę wariancji, przy zakładanym poziomie istotności $\alpha = 0,05$, za pomocą programu SAS 9.1. Istotność różnic między średnimi wyznaczono testem Duncana.

WYNIKI I DYSKUSJA

Pomiary współczynnika ekspandowania skrobi ziemniaczanej wykazały, że jego wartość maleje, wraz ze wzrostem wilgotności surowca, a rośnie wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera (rys. 1). Jest to typowe zjawisko dotyczące większości ekstrudatów. Uzyskane przez nas ekstrudaty charakteryzowały się typową strukturą, przypominającą strukturę plastra miodu. Przy dużych wilgotnościach surowca (25 i 30%) obserwowano powstawanie „szklistych” ekstrudatów, o niedużym stopniu ekspandowania. Efekt ten był szczególnie widoczny, przy zastosowaniu temperatury ekstruzji 120 i 140°C . Uzyskiwane w tych warunkach ekstrudaty miały jednorodną, amorficzną strukturę, bez porów i pęcherzy. Takie zachowanie przetwarzanego surowca związane jest z temperaturą przejścia szklistego (T_g) skrobi oraz temperaturą powstawania pęcherzy (T_p)

pary wodnej (van Soest i in. 1996, Della Valle i in. 1997). Jeśli temperatura produktu jest wyższa, niż T_g i bliska T_p , powstawanie pęcherzy pary wodnej ulega zatrzymaniu i ekstrudat uzyskuje swoją strukturę. Przy dużych wilgotnościach surowca T_g i T_p mogą być niższe, od temperatury w której rozpoczyna się skurcz ekstrudatu, na skutek kondensacji pary (ok. 100°C). Przy małych wilgotnościach T_p jest znacznie wyższe, niż 100°C i z tego powodu wzrost pęcherzy kończy się przed ich zapadnięciem, co skutkuje dużym stopniem ekspandowania.



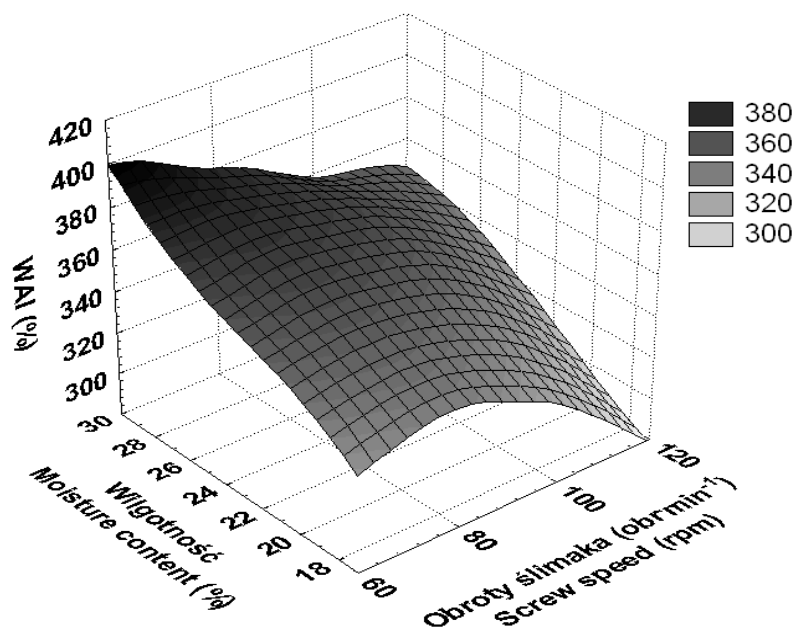
Rys. 1. Współczynnik ekspandowania skrobi ziemniaczanej ekstrudowanej w temperaturze 140°C

Fig. 1. Expansion index of potato starch extrusion-cooked at 140°C

Przeprowadzone badania wykazały, że ciśnieniowo-termiczna modyfikacja skrobi ziemniaczanej, w znaczącym stopniu wpływa na podwyższenie jej wodochłonności i rozpuszczalności w zimnej wodzie. *WAI* skrobi natywnej wynosiło około 97%, a *WSI* ok. 0,25%.

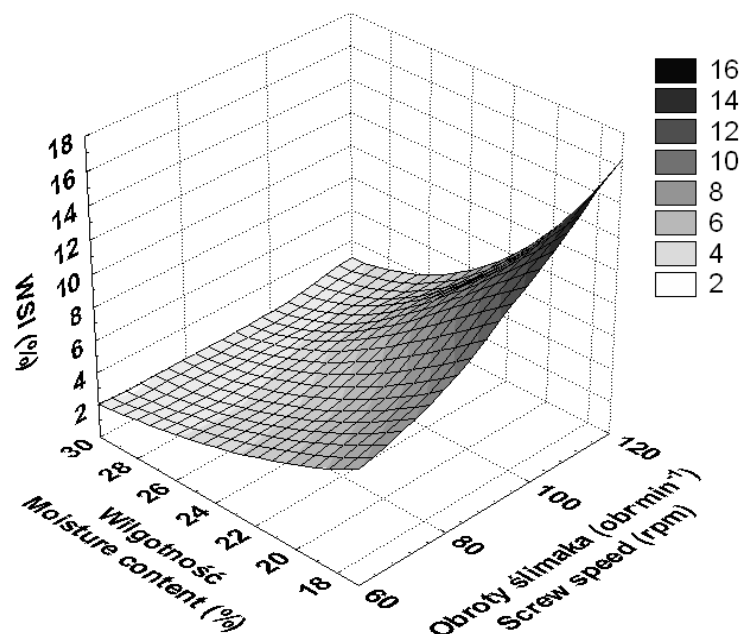
W trakcie badań stwierdzono, że wartość *WAI* początkowo rosła, wraz ze wzrostem prędkości ślimaka, po czym malała przy dużych prędkościach ślimaka. Wraz ze wzrostem wilgotności przetwarzanej skrobi ziemniaczanej obserwowano

wzrost wartości wodochłonności (rys. 2). Wartości *WAI* ekstrudowanej skrobi ziemniaczanej wynosiły od 282 do 569 % i ogólnie nie odbiegały od wartości uzyskiwanych w trakcie pomiarów typowych ekstrudatów skrobiowych (Mercier i in. 1989).



Rys. 2. *WAI* skrobi ziemniaczanej ekstrudowanej w temperaturze 120°C
Fig. 2. *WAI* of potato starch extrusion-cooked at 120°C

Najwyższe wartości wodochłonności obserwowano w skrobi ekstrudowanej w 100°C, zaś najniższe w skrobi przetwarzanej w temperaturze 120°C. Związane to było z postępowaniem stopnia skleikowania oraz degradacji termicznej i fragmentacji skrobi, wywołanej wzrostem temperatury i oddziaływań mechanicznych, w czasie obróbki ciśnieniowo-termicznej. Wzrost temperatury ekstruzji do 140°C powodował ponowny wzrost wartości *WAI*. Najprawdopodobniej na skutek obniżenia temperatury przejścia szklistego, skrobia uległa szybszemu stopieniu i upłynnieniu, co mogło ograniczać stopień jej degradacji. Analiza wariancji tego parametru, w zależności od wilgotności surowca i obrotów ślimaka wykazała istotne różnice statystyczne, przy poziomie istotności 0,05. Jedynie w ekstrudatach uzyskanych w temperaturze 140°C nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych, w zależności między wodochłonnością, a obrotami ślimaka.



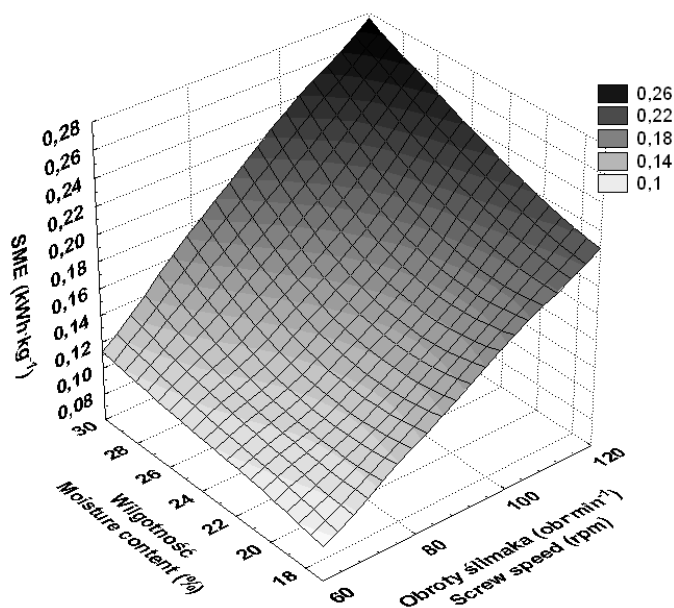
Rys. 3. WSI skrobi ziemniaczanej ekstrudowanej w temperaturze 140°C
 Fig. 3. WSI of potato starch extrusion-cooked at 140°C

W trakcie badań stwierdzono, że wartość współczynnika *WSI* wzrastała wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka i malała wraz ze wzrostem wilgotności przetwarzanego surowca (rys. 3). Najwyższe wartości rozpuszczalności (40%) uzyskano w odniesieniu do skrobi modyfikowanej w temperaturze 120°C. W miarę wzrostu temperatury procesu ekstruzji, obserwowano początkowy wzrost *WSI*, po czym następował jego spadek. Zmiany rozpuszczalności skrobi związane były, podobnie jak w przypadku zmian *WAI*, ze zmianami w procesie kleikowania i degradacji skrobi oraz obniżeniem temperatury przejścia szklistego, wywołanej wzrostem wilgotności surowca. Analiza wariancji *WSI*, w zależności od wilgotności surowca i obrotów ślimaka, wykazała istotne różnice statystyczne, przy poziomie istotności 0,05.

W trakcie badań stwierdzono, że wartość współczynnika *SME*, określana jako ilość energii potrzebnej do uzyskania 1 kg produktu, kształtowała się na poziomie 0,083-0,275 kWh·kg⁻¹ (298,8-990 kJ·kg⁻¹), w zależności od zastosowanych parametrów procesu ekstruzji. Uzyskane wartości *SME* okazały się niższe, od wartości podawanych przez Della Valle i in. (1995). Najniższą energochłonność proce-

su zaobserwowano podczas ekstruzji skrobi ziemniaczanej, w temperaturze 140°C. Najwyższą energochłonność ekstruzji rejestrowano podczas prowadzenia procesu w temperaturze 100°C (przy wilgotności surowca 17 i 20 %) oraz w temperaturze 120°C (przy wilgotności surowca 25 i 30 %).

Badania wykazały zależność energochłonności procesu od prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera (rys. 4). Wpływ wilgotności surowca na *SME* był niejednoznaczny. Podczas prowadzenia procesu w temperaturze 100°C obserwowano niewielkie zmiany (obniżenie) energochłonności ekstruzji. Przy zastosowaniu wyższych temperatur ekstruzji skrobi ziemniaczanej zaobserwowano, że wzrost wilgotności skrobi powoduje wzrost wartości współczynnika *SME* (rys. 4). Najprawdopodobniej spowodowane to było wzrostem lepkości przetwarzanej masy, ponieważ skrobia ulegała stopieniu i upłynnieniu, w wyniku obniżenia temperatury przejścia szklistego, wywołanego obecnością wody.



Rys. 4. *SME* w czasie ekstruzji skrobi ziemniaczanej w temperaturze 120°C
Fig. 4. *SME* during potato starch extrusion-cooking at 120°C

WNIOSKI

1. Współczynnik ekspandowania skrobi ziemniaczanej w znaczącym stopniu zależał od parametrów procesu ekstruzji. Jego wartość malała wraz ze wzrostem wilgotności surowca, rosła wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka.

2. Proces ekstruzji skrobi ziemniaczanej podwyższał jej wodochłonność i rozpuszczalność w wodzie. Zmiany te były ściśle związane z przebiegiem procesu kleikowania i degradacji skrobi i ich zakres zależał od zastosowanych parametrów ekstruzji.

3. Ciśnieniowo-termiczna modyfikacja skrobi ziemniaczanej metodą ekstruzji charakteryzuje się relatywnie niską energochłonnością. Wartości *SME* kształtowały się w przedziale od 298,8 do 990 kJ·kg⁻¹, w zależności od zastosowanych parametrów procesu ekstruzji. Znaczący wpływ na wartość *SME* miała prędkość obrotowa ślimaka, w niewielkim stopniu wilgotność surowca.

PIŚMIENNICTWO

- Anderson R.A., Conway H.F., Peplinski A.K., 1970. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch*, 22, 130-134.
- Błaszczak W., Valverde S., Fornal J., 2005. Effect of high pressure on the structure of potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 59, 377-383.
- Della Valle G., Boche Y., Colonna P., Vergnes B., 1995. The extrusion behaviour of potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 28, 255-264.
- Della Valle G., Vergnes B., Colonna P., Patria A., 1997. Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. *Journal of Food Engineering*, 31, 277-296.
- Harper J.M., 1981. *Extrusion of Foods*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Janssen L.P.B.M., Mościcki L., Mitrus M., 2002. Energy aspects in food extrusion-cooking. *International Agrophysics*, 16, 191-195.
- Mercier C., Linko P., Harper J.M., 1989. *Extrusion cooking*. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, USA.
- Mitrus M., 2005. Changes of specific mechanical energy during extrusion cooking of thermoplastic starch. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 5, 152-157.
- Mitrus M., Mościcki L., 2009. Extrusion-Cooking of TPS. W *Thermoplastic Starch. A Green Material for Various Industries* (Eds. L.P.B.M. Janssen, L. Mościcki). Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 149-157.
- Mościcki L., Mitrus M., Wójtowicz A., 2007. *Technika ekstruzji w przemyśle rolno-spożywczym*. PWRiL, Warszawa.
- van den Eijnde R., Bolsius A., van Soest J., Janssen L.P.B.M., van der Goot A., Boom R., 2003. The effect of thermomechanical treatment on starch breakdown and the consequences for the process design. *Carbohydrate Polymers*, 55, 57-63.
- Van Soest J.J.G., Bezemer R.C., de Wit D., Vliegthart J.F.G., 1996. Influence of glycerol on the melting of potato starch. *Industrial Crops and Products*, 5, 1-9.
- Yan H., Zhengbiao G.U., 2010. Morphology of modified starches prepared by different methods. *Food Research International*, 43, 767-772.

POTATO STARCH MODIFICATION BY EXTRUSION-COOKING
TECHNIQUE

Marcin Mitrus, Agnieszka Wójtowicz, Leszek Mościcki

Department of Food Process Engineering, University of Life Sciences
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin, Poland
e-mail: marcin.mitrus@up.lublin.pl

Abstract. The influence of extrusion-cooking process parameters on changes in physical properties of potato starch was investigated. The process is characterized by small energy consumption. Expansion index decreased with raw material moisture content increase. It was found that extrusion-cooking process increases water absorption and solubility of starch. The highest value of Water Absorption Index was 569 % and Water Solubility Index was 40%.

Keywords: potato starch, extrusion-cooking, water absorption index, solubility