

WPLYW TYPU MĄKI ORAZ PRĘDKOŚCI WYTŁACZANIA NA WYDAJNOŚĆ I ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU ORAZ EKSPANDOWANIE EKSTRUDOWANYCH MAKARONÓW BŁYSKAWICZNYCH

Agnieszka Wójtowicz, Stanisław Juško

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wydajności, energochłonności i wskaźnika ekspandowania ekstrudowanych makaronów błyskawicznych. Jako surowce zastosowano handlowe mąki: oczyszczoną mąkę pszenną, mąkę pszenną pełnoziarnistą, oczyszczoną mąkę orkiszową oraz mąkę orkiszową pełnoziarnistą. Makarony wytwarzano w temp. 65–105°C z zastosowaniem jednoślimakowego ekstrudera, ze zmodyfikowanym układem plastyfikującym i chłodzącym przy wilgotności ciasta makaronowego 30%. W czasie procesu rejestrowano wydajność oraz jednostkowe zapotrzebowanie energii mechanicznej SME w zależności od parametrów ekstruzji i zastosowanych surowców oraz wskaźnik ekspandowania promieniowego wytworzonych wyrobów. Makarony orkiszowe charakteryzowały się wyższą zawartością białka, popiołu oraz błonnika niż makarony z mąki pszennej oczyszczonej, co wpływało na uzyskanie niższej wydajności procesu. Wydajność procesu ekstruzji podczas wytwarzania makaronów z różnych surowców wzrastała wraz ze wzrostem obrotów ślimaka roboczego. Wartości SME wynosiły od 0,06 do 0,21 kWh·kg⁻¹ i uzależnione były zarówno od zastosowanych surowców, jak i od prędkości wytłaczania makaronów. Zastosowanie mąki pszennej i orkiszowej pełnoziarnistej wpłynęło na uzyskanie niższych wskaźników ekspandowania makaronów ekstrudowanych, zwłaszcza przy wyższych prędkościach obrotowych ślimaka ekstrudera.

Słowa kluczowe: makaron błyskawiczny, ekstruzja, mąka pełnoziarnista, orkisz, SME, ekspandowanie

WSTĘP

Makaron jest produktem niskokalorycznym i zawiera niewielką ilość tłuszczu, przyczynia się do zmniejszenia wartości indeksu glikemicznego [Kristensen i in. 2010].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Agnieszka Wójtowicz, Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin, e-mail: agnieszka.wojtowicz@up.lublin.pl

Pozytywną cechą żywieniową makaronu jest mała zawartość sodu, co korzystnie wpływa na układ krążenia i wydalniczy [Gelencsér i in. 2008]. Ekstrudowane makarony błyskawiczne mogą być wytwarzane z bardzo wielu surowców lub wzbogacane substancjami funkcjonalnymi, nadającymi produktom określone cechy użytkowe lub odżywcze [Wang i in. 1999; Wójtowicz 2008, 2011]. Makarony szybko gotujące różnią się od klasycznych znacznie krótszym czasem przyrządzenia, wymagają gotowania nie dłuższego niż 2 min [PN-A-74131:1999], natomiast wyroby błyskawiczne typu instant mogą być hydratowane w gorącej wodzie w czasie nieprzekraczającym 5 min.

Produkty pełnoziarniste, których popularność stale wzrasta, wpływają na poprawę przemiany materii, ograniczają wchłanianie tłuszczu przez organizm i obniżają poziom złego cholesterolu we krwi [Franz i Sampson 2006; Marquart i in. 2006; McKeown i in. 2002; Vasanthan i Li 2003]. Spożywanie produktów pełnoziarnistych może wpływać na obniżenie ryzyka chorób serca i różnych nowotworów, mieć pozytywny wpływ na poziom lipidów i glukozy we krwi, poprawiać równowagę insulinową oraz wpływać na większą ilość spożywanych mikroelementów i włókna pokarmowego [Jacobs i in. 1998]. Rekomendowana ilość posiłków zawierających produkty pełnoziarniste, podawana przez Marquarta i in. [2006], wynosić powinna od 5 do 11, lecz identyfikacja produktów pełnoziarnistych przez konsumentów wg tych danych literaturowych jest słaba. Zalecenia amerykańskie opracowane przez Food and Drug Administration mówią o konieczności spożywania co najmniej 3 posiłków dziennie zawierających produkty pełnoziarniste w postaci przetworów zbożowych, pieczywa, makaronów, ciastek czy przekąsek [Slavin i in. 2001].

Z powodu chorób cywilizacyjnych na świecie dietetycy zalecają uzupełnianie diety w produkty pełnoziarniste, dostarczające nie tylko cennego ze względów trawiennych błonnika, ale również ze względu na obecność dużej ilości witamin w produktach z pełnego przemiału, szczególnie z grupy B, witaminy E oraz makro- i mikroelementów, jak selen, cynk, miedź, magnez [Chillo i in. 2008, Hirawan i in. 2010, Slavin i in. 2001]. Produkty pełnoziarniste zawierają również związki fitoaktywne, jak antyoksydanty, fenole, fitoestrogeny oraz łatwo fermentowane węglowodany, takie jak błonnik pokarmowy, skrobia oporna czy oligosacharydy, które mogą wpływać na obniżenie poziomu cholesterolu, zapobiegać chorobom układu krążenia oraz obniżać ryzyko nowotworów [Slavin i in. 2001]. W świetle zwiększającego się zainteresowania rolą produktów pełnoziarnistych w poprawie zdrowotności i ograniczania chorób oraz ograniczonego spożycia wyrobów pełnoziarnistych powstają nowe asortymenty produktów spożywczych, np. wzbogacana galanteria śniadaniowa zawierająca pełne ziarno, otręby lub zarodki [Franz i Sampson 2006].

Semolina i mąka pszenna są najczęściej stosowanymi surowcami zbożowymi w produkcji makaronów [Yalla i Manthey 2006]. Zamiast pszenicy można wykorzystać również orkisz, który zawiera więcej pozytywnie wpływających na organizm składników niż zboża innych odmian. Orkisz jest lekkostrawny i łatwo przyswajalny, zawiera wiele nienasyconych kwasów tłuszczowych, witaminy A, E, D, B₁, B₂, B₆ oraz związki żelaza, magnezu, fosforu, wapnia. Orkisz pozytywnie wpływa na układ krążenia krwi, zaleca się go przy przemęczeniu, alergiach oraz chorobach wątroby i nerek, zapobiega też powstawaniu kamieni żółciowych. Dieta oparta na orkiszu pozwala obniżyć poziom cholesterolu we krwi [Marconi i in. 2002]. Mąka orkiszowa, nieco ciemniejsza od

pszennej, posiada bardzo delikatny orzechowy posmak, przez co gwarantuje intensywny aromat pieczywa i innych produktów. Mąka orkiszowa razowa może być stosowana do wypieku chleba pełnoziarnistego i wyrobu ciast. Podobnie jak inne produkty orkiszowe, mąka orkiszowa posiada wartości odżywcze, które dodatkowo wpływają na odporność organizmu, spadek energii oraz zmęczenie. Zaleca się jej stosowanie w profilaktyce chorób nowotworowych oraz układu krążenia. Orkisz spożywany w większych ilościach wpływa na odporność i wspomaga usuwanie toksyn.

Z technologicznego punktu widzenia wyroby makaronowe wytworzone z surowców bogatych w błonnik są trudniejsze do przetworzenia ze względu na obecność w nich dużej ilości włókna pokarmowego, więc w wielu produktach piekarskich i przekąskowych są one zastępowane przez włókniste dodatki funkcjonalne lub skrobię oporną [Singh i Smith 1997, Sozer i in. 2007]. Makarony pełnoziarniste mogą być doskonałym uzupełnieniem diety w cenne składniki odżywcze [Chilo i in. 2008, Oliviera i Salvadori 2006], zaś ekstrudowane makarony błyskawiczne wytwarzane z surowców pełnoziarnistych mogą nie tylko wzbogacić dietę, ale także skrócić czas przygotowania pożywnego posiłku do kilkuminutowej hydratacji makaronu błyskawicznego we wrzątku przed podaniem. Proces produkcji ekstrudowanego makaronu błyskawicznego polega na przygotowaniu ciasta przez mieszanie surowców z wodą i ciśnieniowo-termicznej obróbce typu HTST, która umożliwia skleikowanie skrobi i wytłoczenie makaronu o odpowiednim kształcie, a zachodzące w tym procesie liczne interakcje pomiędzy składnikami ciasta nadają mu pożądaną wytrzymałość i cechy sensoryczne [Ding i in. 2005, Wójtowicz i Mościcki 2009].

Celem pracy było określenie wpływu rodzaju mąki oraz prędkości obrotowej ślimaka na wydajność i energochłonność procesu ekstruzji oraz ekspandowanie makaronów błyskawicznych wytworzonych z oczyszczonej i pełnoziarnistej mąki pszennej oraz orkiszowej.

MATERIAŁY I METODY

Surowcami do wytworzenia makaronów błyskawicznych były handlowe rodzaje mąki: mąka pszenna typ 500 (Polskie Młyny, Warszawa), mąka pszenna pełnoziarnista (Lubella S.A., Lublin), mąka orkiszowa TBL-70 oraz mąka orkiszowa pełnoziarnista TGL-200 (kraj pochodzenia Węgry, dystrybutor Radix-Bis, Rotmanka, Polska). Zestawienie charakterystyki chemicznej surowców przedstawiono w tabeli 1.

Przygotowane surowce, dowilżone do wilgotności 30%, poddawano obróbce w ekstruderze jednoślindakowym TS-45 ($L/D = 16$) w temperaturze w zakresie $65\text{--}105^{\circ}\text{C}$ przy prędkości obrotowej ślimaka od 60 do $120\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ i formowano na matrycy z 12 otworami o średnicy 0,8 mm [Wójtowicz i Mościcki 2009]. Sekcja chłodzenia, zastosowana dodatkowo w ekstruderze, obniżała temperaturę produktów, ograniczając ich nadmierne nagrzewanie i zmniejszała kleistość wyrobów [Juško i in. 2009a]. Proces prowadzono w temperaturze od 85°C w sekcji I, 105°C w sekcji II, 75°C w sekcji chłodzenia oraz 65°C na głowicy ekstrudera. Zastosowano ślimak plastyfikujący wyposażony w dodatkowy element uzwojenia tzw. mieszający, który umożliwiał lepsze wymieszanie ciasta, a jednocześnie jego odpowietrzenie [Juško i in. 2009b].

Tabela 1. Skład chemiczny surowców użytych do wytworzenia makaronów błyskawicznych
 Table 1. Chemical composition of raw materials used for precooked pasta processing

Skład Composition	Mąka pszenna Common wheat flour	Mąka orkiszowa Common spelt flour	Mąka pszenna pełnoziarnista Wholegrain wheat flour	Mąka orkiszowa pełnoziarnista Wholegrain spelt flour
Białko Protein, %	12,2	14,8	13,7	16,7
Tłuszcz Fat, %	0,9	1,0	2,1	1,9
Błonnik Fibre, %	1,3	1,5	4,0	2,7

Określenie wydajności procesu ekstruzji przeprowadzono przez pobieranie makaronu bezpośrednio po opuszczeniu matrycy formującej przez 10 min ciągłej produkcji i pomiar masy wyrobów makaronowych ekstrudowanych z różnych surowców przy zmiennych obrotach ślimaka trzykrotnie podczas każdej serii. Jako wynik przyjęto średnią z wyników pomiarów [Wójtowicz i Mościcki 2008].

Wyznaczenia poboru mocy, wyrażonego jako SME – jednostkowe zapotrzebowanie energii mechanicznej (ang. specific mechanical energy) dokonywano przy każdej zmianie obrotów ślimaka podczas ekstruzji makaronów z różnych surowców. Po uwzględnieniu parametrów pracy ekstrudera TS-45, obciążenia silnika oraz wydajności w poszczególnych próbach, uzyskane wartości przeliczono na SME wg Ryu i Ng [2001]:

$$SME = \frac{N}{N_m} \times \frac{O}{100} \times \frac{P}{Q} \quad [\text{kWh kg}^{-1}]$$

gdzie:

- SME – wskaźnik specyficznego zużycia energii mechanicznej,
- N – obroty ślimaka podczas testu,
- N_m – maksymalne obroty ślimaka,
- O – obciążenie silnika,
- P – moc,
- Q – wydajność procesu.

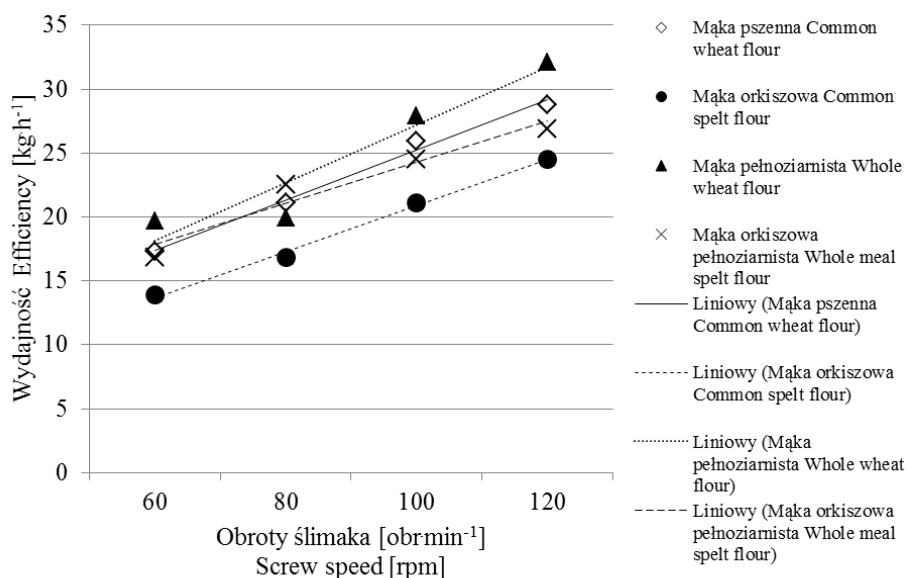
Pomiary przeprowadzano podczas każdej serii w trzech powtórzeniach. Wskaźnik ekspandowania promieniowego wytworzonych ekstrudowanych makaronów błyskawicznych wyznaczono jako stosunek średnicy ekstrudatu do średnicy otworu matrycy w zależności od ekstrudowanych surowców i prędkości ślimaka podczas ekstruzji. Pomiary wykonano w 10 powtórzeniach dla każdego rodzaju makaronów [Wójtowicz 2011].

Wyznaczanie wartości eksploatacyjnych ekstruzji oraz ekspandowanie makaronów pszennych i orkiszowych z mąki oczyszczonej i pełnoziarnistej analizowano w zależności od prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera, wyznaczając współczynniki korelacji liniowej Pearsona oraz równania regresyjne dla poszczególnych surowców.

WYNIKI

Surowce wysokobłonnikowe, wykorzystywane do wytwarzania żywności prozdrowotnej, wymagają specyficznych warunków obróbki termicznej ze względu na obecność zwiększonej ilości włókna pokarmowego. Ustalenie optymalnych parametrów obróbki jest szczególnie istotne w czasie ekstruzji, kiedy to zintegrowane oddziaływanie temperatury, ciśnienia oraz naprężeń ścinających, wywołuje w przetwarzanych materiałach kompleksowe zmiany fizykochemiczne [Moscicki 2011]. Zastosowanie zmodyfikowanego układu plastyfikującego ekstrudera wyposażonego w dodatkowy układ chłodzenia zapewniło utrzymanie temperatury procesu na założonym poziomie, nie przekraczającym 100°C, co pozwoliło z jednej strony na uzyskanie odpowiedniej konsystencji makaronów błyskawicznych, a z drugiej strony uniemożliwiło powstawanie pęcherzyków pary wodnej wewnątrz nitki makaronowych, które mogłyby wpłynąć na powstawanie pęknięć i pokruszenie wyrobów podczas hydratacji. Dane uzyskane w badaniach eksploatacyjnych są niezwykle istotne przy modelowaniu procesu i ustalaniu optymalnych parametrów produkcji wyrobów makaronowych z różnorodnych surowców w długich cyklach produkcyjnych.

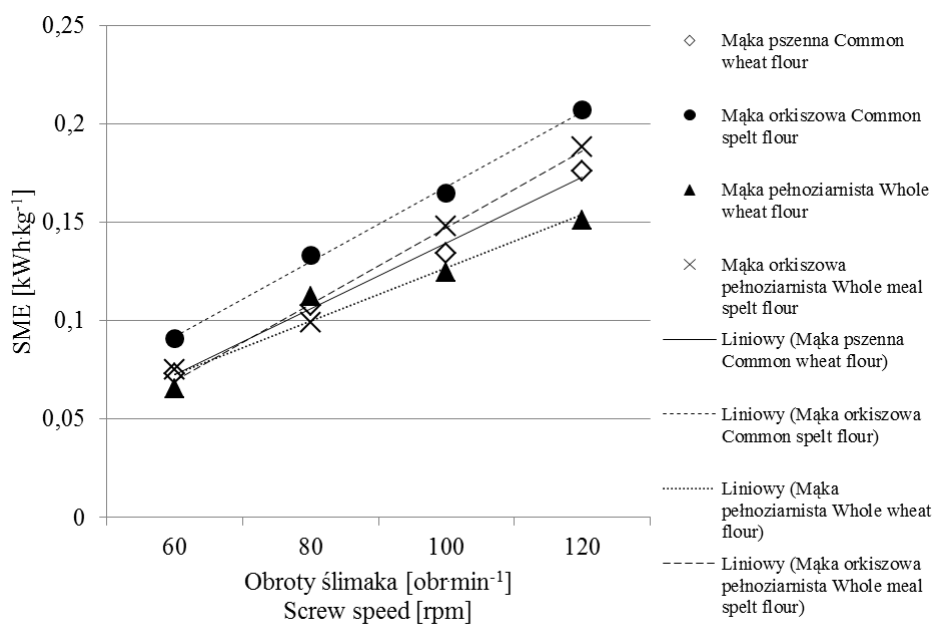
Wyniki pomiarów wydajności w zależności od ekstrudowanych surowców oraz prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera zestawiono na rys. 1. Wyniki pomiaru wydajności ekstrudera wykazały liniową zależność tego parametru od obrotów ślimaka



Rys. 1. Wydajność procesu ekstruzji makaronów błyskawicznych z mąki pszennej i orkiszowej oczyszczonej i pełnoziarnistej w zależności od zastosowanych obrotów ślimaka ekstrudera

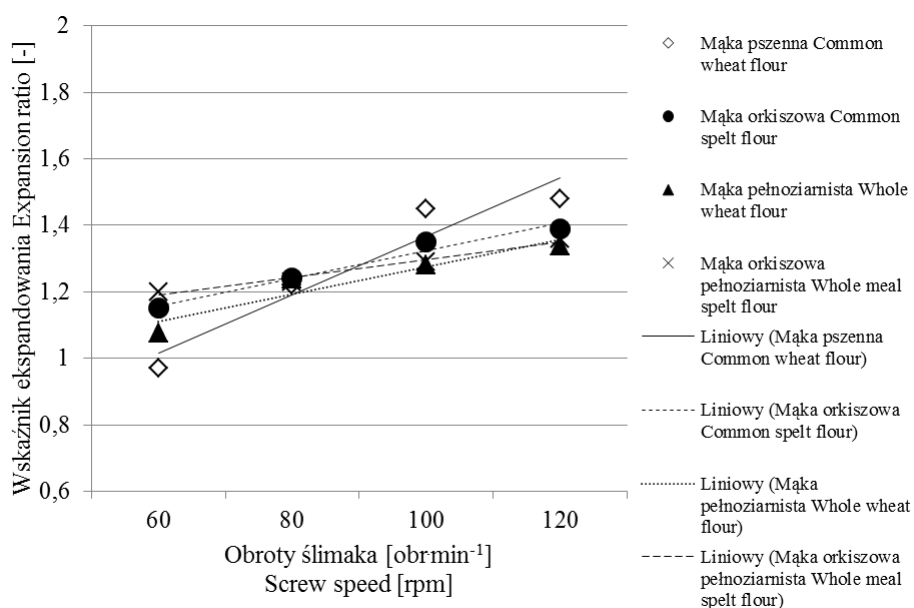
Fig. 1. Extrusion-cooking process efficiency of precooked pasta made from common and whole-grain wheat and spelt flour depend on screw speed applied

w czasie wytłaczania. Im wyższe były obroty ślimaka, tym wydajność procesu ekstruzji była większa. Podobne zależności określili Wójtowicz i Mościcki [2008] przy wyznaczaniu wydajności procesu ekstruzji makaronów błyskawicznych z mąki pszennej o różnym stopniu nawilżenia. Przy 30-procentowej wilgotności surowców pszennych i orkiszowych z mąki oczyszczonej i pełnoziarnistej wydajność procesu ekstruzji makaronów błyskawicznych zmieniała się od 14 do 32 kg·h⁻¹ wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka od 60 do 120 obr·min⁻¹. Mąka orkiszowa frakcjonowana (oczyszczona) oraz pełnoziarnista charakteryzowały się wyższą zawartością białka, popiołu oraz błonnika niż mąka pszenna (tab. 1), co mogło wpływać na wolniejszy wzrost wydajności procesu w porównaniu z mąką pszenną, zwłaszcza gdy stosowano wyższe prędkości ślimaka podczas ekstruzji. Przy najwyższych prędkościach obrotowych ślimaka najwyższe wydajności procesu uzyskano dla mąki pszennej pełnoziarnistej, lecz w tym przypadku można mówić o niepełnym przetworzeniu składników tej mąki, co potwierdzają wyniki badania wskaźnika ekspandowania promieniowego makaronów i zachodzeniu zjawiska tzw. płynięcia materiału, prawdopodobnie z powodu niskiej wilgotności surowców, zbyt dużej ilości frakcji włóknistych w mące oraz niskich temperatur stosowanych podczas ekstruzji [Wójtowicz i Mitrus 2010].



Rys. 2. SME podczas procesu ekstruzji makaronów błyskawicznych z mąki pszennej i orkiszowej oczyszczonej i pełnoziarnistej w zależności od zastosowanych obrotów ślimaka ekstrudera
 Fig. 2. SME during the extrusion-cooking process of precooked pasta made from common and wholegrain wheat and spelt flour depend on screw speed applied

Podczas wyznaczania jednostkowego zapotrzebowania energii mechanicznej SME brano pod uwagę pobór mocy, obroty wytłaczania oraz wydajność procesu ekstruzji makaronów błyskawicznych. Wartości SME wyznaczone podczas ekstruzji makaronów pełnoziarnistych z zastosowaniem wersji układu plastyfikującego $L/D = 16$ były niskie, wynosiły od $0,06$ do $0,21 \text{ kWh kg}^{-1}$ przy obrotach odpowiednio od 60 do 120 obr min^{-1} (rys. 2). Najwyższe wartości SME występują podczas ekstruzji makaronów błyskawicznych z oczyszczonej mąki orkiszowej, najniższe zaś makaronów z mąki pszennej pełnoziarnistej. Zwiększone zapotrzebowanie energii mechanicznej przy przetwarzaniu tego typu produktów makaronowych może być związane z wyższą ilością białka w surowcach orkiszowych niż w pszennych, co wymaga wyższych nakładów energetycznych podczas obróbki z zastosowaniem techniki ekstruzji [Le Roux i Vergnes 1995, Wójtowicz i Mościcki 2009]. Podczas ekstruzji makaronów błyskawicznych pełnoziarnistych trzeba również wziąć pod uwagę obecność błonnika w mące pełnoziarnistej na poziomie kilkukrotnie wyższym niż w mące oczyszczonej, którego obecność ma wpływ na zachowanie masy ciasta podczas ekstruzji.



Rys. 3. Wskaźnik ekspansji makaronów błyskawicznych z mąki pszennej i orkiszowej oczyszczonej i pełnoziarnistej w zależności od zastosowanych obrotów ślimaka ekstrudera

Fig. 3. Radial expansion ratio of precooked pasta made from common and wholegrain wheat and spelt flour depend on screw speed applied

Z badań przeprowadzonych przez Abecassisa i in. [1994] wynika, że przy zastosowaniu tradycyjnego tłoczenia makaronów w jednoślindakowej prasie makaronowej w temperaturze nie przekraczającej 50°C przy obrotach ślimaka 30 obr min^{-1} , wartość

SME wynosiła od 0,03 do 0,12 kWh·kg⁻¹. Le Roux i in. [1995] podają przy prędkości wytłaczania semoliny durum 15–30 obr·min⁻¹ wartości SME w zakresie 0,007 do 0,034 kWh·kg⁻¹ w tradycyjnej prasie makaronowej przy wilgotności ciasta 44–48%. Ryu i Ng [2001] stwierdzili wyższe wartości SME przy wyższej prędkości obrotowej podczas dwuślimakowej ekstruzji mąki pszennej oraz mąki kukurydzianej. Dwukrotne zwiększenie prędkości obrotowej wpłynęło na niemal dwukrotnie większe zapotrzebowanie SME (z 0,155 do 0,293 kWh·kg⁻¹ podczas ekstruzji mąki pszennej w temperaturze do 120°C). Zwiększenie dodatku wody do surowców wpłynęło na znaczne obniżenie SME (z 0,125 do 0,068 kWh·kg⁻¹ podczas ekstruzji mąki pszennej w temp. do 160°C).

Wyniki pomiarów wskaźnika ekspandowania promieniowego makaronów błyskawicznych z mąki oczyszczonej i pełnoziarnistej przedstawiono na rys. 3. Wartości wyznaczone podczas badania makaronów z mąki pszennej wynosiły od 0,95 przy 60 obr·min⁻¹ do 1,45 przy prędkości ślimaka 120 obr·min⁻¹. Mniejsze różnice uzyskano dla makaronów z mąki pszennej pełnoziarnistej od 1,05 do 1,25 przy skrajnych obrotach ślimaka.

Bardziej wyrównane wyniki odnotowano podczas oceny ekspandowania makaronów z mąki orkiszowej, zarówno oczyszczonej, jak i pełnoziarnistej, w tym przypadku różnice pomiędzy wynikami pomiarów wskaźnika ekspandowania promieniowego były w mniejszym stopniu uzależnione od obrotów ślimaka podczas ekstruzji. Wykorzystanie mąki pełnoziarnistej pszennej oraz orkiszowej wpłynęło na uzyskanie niższych wskaźników ekspandowania makaronów ekstrudowanych przy wyższych prędkościach ślimaka ekstrudera 100 i 120 obr·min⁻¹.

Tabela 2. Równania regresji oraz współczynniki korelacji badanych parametrów makaronów błyskawicznych z mąki pszennej i orkiszowej oczyszczonej i pełnoziarnistej w zależności od zastosowanych obrotów ślimaka ekstrudera

Table 2. Regression equations of linear functions and correlation coefficients of precooked pasta made from common and wholegrain wheat and spelt flour depend on screw speed applied

Badany parametr Tested value	Mąka pszenna Common wheat flour	Mąka orkiszowa Common spelt flour	Mąka pszenna pełnoziarnista Wholegrain wheat flour	Mąka orkiszowa pełno- ziarnista Wholegrain spelt flour
Wydajność Efficiency	$y = 3,936x + 13,44$ $R^2 = 0,991$	$y = 3,6x + 10,08$ $R^2 = 0,994$	$y = 4,534x + 13,57$ $R^2 = 0,906$	$y = 3,216x + 14,64$ $R^2 = 0,932$
SME	$y = 0,033x + 0,039$ $R^2 = 0,993$	$y = 0,038x + 0,054$ $R^2 = 0,997$	$y = 0,027x + 0,046$ $R^2 = 0,942$	$y = 0,038x + 0,030$ $R^2 = 0,983$
Wskaźnik ekspandowania Expansion ratio	$y = 0,176x + 0,84$ $R^2 = 0,918$	$y = 0,083x + 1,075$ $R^2 = 0,971$	$y = 0,082x + 1,027$ $R^2 = 0,903$	$y = 0,054x + 1,135$ $R^2 = 0,972$

Zależności badanych parametrów makaronów błyskawicznych od zastosowanych prędkości ślimaka podczas procesu ekstruzji wyznaczono za pomocą liniowego dopasowania funkcji dla różnych rodzajów surowców użytych w badaniach (tab. 2). Wszystkie współczynniki kierunkowe w równaniach przyjęły wartości dodatnie, co świadczy o zwiększaniu wartości badanych cech przy zwiększaniu prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera podczas wytwarzania makaronów błyskawicznych. Wysokie współczynniki korelacji liniowej, powyżej 0,9, wskazują na dobre dopasowanie równań wyznaczonych dla wydajności i energochłonności procesu oraz wskaźnika ekspandowania promieniotęgowego produktów w zależności od obrotów ślimaka podczas ekstruzji makaronów błyskawicznych z mąki pszennej i orkiszowej oczyszczonej oraz pełnoziarnistej.

WNIOSKI

Makarony błyskawiczne z surowców pełnoziarnistych mogą być doskonałym uzupełnieniem diety w cenne składniki odżywcze oraz ułatwić przygotowanie wartościowego posiłku. Ze względu na dobre walory smakowe, kulinarne i dietetyczne tego typu makarony mogą wzbudzić duże zainteresowanie wśród producentów zup błyskawicznych, makaronów z sosami, jak również właścicieli punktów gastronomicznych i konsumentów. Proces ekstruzji makaronów błyskawicznych z mąki oczyszczonej orkiszowej charakteryzował się mniejszą wydajnością i wyższą energochłonnością w porównaniu z makaronami z mąki pszennej, niewielkie różnice zaobserwowano pomiędzy pszennymi i orkiszowymi surowcami pełnoziarnistymi. Wydajność procesu ekstruzji oraz SME wyznaczone podczas wytwarzania makaronów błyskawicznych z surowców oczyszczonych oraz pełnoziarnistych wzrastały wraz ze wzrostem obrotów ślimaka roboczego. Wskaźniki ekspandowania na poziomie 1,0–1,4 są niskie i umożliwiają łatwą hydratację makaronów błyskawicznych bez konieczności ich gotowania.

PIŚMIENNICTWO

- Abecassis J., Abbou R., Chaurand M., Morel M. H., Vernoux P., 1994. Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature and pressure in the extruder and on pasta quality. *Cereal Chem.* 71(3), 247–253.
- Chillo S., Laverse J., Falcone P.M., Protopapa A., Del Nobile M.A., 2008. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *J. Cereal Sci.* 47, 144–152.
- Ding Q.B., Ainsworth P., Tucker G., Marson H., 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *J. Food Eng.* 66, 283–289.
- Franz M., Sampson L., 2006. Challenges in developing a whole grain database: Definitions, methods and quantification. *J. Food Compos. Anal.* 19, 38–44.
- Gelencsér T., Gál V., Hódsági M., Salgó A., 2008. Evaluation of quality and digestibility characteristics of resistant starch-enriched pasta. *Food Bioprocess Technol.* 1, 171–179.
- Hirawan R., Ser W., Arntfield S., Beta T., 2010. Antioxidant properties of commercial, regular and whole-wheat spaghetti. *Food Chem.* 119, 258–264.

- Jacobs Jr. D.R., Meyer K.A., Kushi L.H., Folsom A.R., 1998. Wholegrain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in postmenopausal women: the Iowa Women's Health Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 68, 248–257.
- Juško S., Mościcki L., Wójtowicz A., 2009a. Sekcja chłodząco-formująca. Wzór użytkowy PL 64690 Y1, WUP 12, 3035.
- Juško S., Mościcki L., Wójtowicz A., 2009b. Ślimak do ekstrudera. Wzór użytkowy PL 64691 Y1, WUP, 12, 3035.
- Kristensen M., Jensen M., Riboldi G., Petronio M., Bügel S., Toubro S., Tetens I., Astrup A., 2010. Wholegrain vs. refined wheat bread and pasta. Effect on postprandial glycemia, appetite, and subsequent ad libitum energy intake in young healthy adults. *Appetite*, 54, 163–169.
- Le Roux D., Vergnes B., 1995. A thermomechanical approach to pasta extrusion. *J. Food Eng.* 26, 351–368.
- Marconi E., Carcea M., Schivone M., Cubadda R., 2002. Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. *Cereal Chem.* 79(5), 634–639.
- Marquart L., Pham A.T., Lautenschlager L., Croy M., Sobal, J., 2006. Beliefs about whole-grain foods by food and nutrition professionals, health club members, and special supplemental nutrition program for women, infants, and children participants/state fair attendees. *J. Am. Diet. Assoc.* 106, 1856–1860.
- McKeown N.M., Meigs J.B., Liu S.M., Wilson P.W.F., Jacques P.F., 2002. Whole-grain intake is favorably associated with metabolic risk factors for type 2 diabetes and cardiovascular disease in the Framingham Offspring Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 76(2), 390–398.
- Mosciski L. (Ed.), 2011. *Extrusion-Cooking Techniques*, WILEYVCH Verlag & Co.KGaA, Weinheim, Germany.
- Olivera D., Salvadori V., 2006. Textural characterisation of lasagna made from organic whole wheat. *Int. J. Food Sci. Techn.* 41(Suppl 2), 63–69.
- PN-A-74131:1999. Makaron.
- Ryu G. H., Ng P. K., 2001. Effect of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch/Starke* 53, 147–154.
- Singh N., Smith A., 1997. A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *J. Food Eng.* 34, 15–32.
- Slavin J., Jacobs D., Marquart L., Wiemer K., 2001. The role of whole grains in disease prevention. *J. Am. Diet. Assoc.* 101, 780–785.
- Sozer N., Dalgic A.C., Kaya A., 2007. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *J. Food Eng.* 81, 476–484.
- Vasanthan J., Li J., 2003. Hypochlorite oxidation of field pea starch and its suitability for noodle making using an extrusion cooker. *Food Res. Int.* 36, 381–386.
- Wang N., Bhirud P., Sosulski F., Tyler R., 1999. Pasta – like product from pea flour by twin-screw extrusion. *J. Food Sci.* 4, 671–678.
- Wójtowicz A., 2008. Influence of legumes addition on proceeding of extrusion-cooking process of precooked pasta. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln. PAN Oddział w Lublinie* 8a, 209–216.
- Wójtowicz A., 2011. Influence of extrusion-cooking process parameters on selected physical and textural properties of precooked maize pasta. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln. PAN Oddział w Lublinie* 11, 441–449.
- Wójtowicz A., Mitrus M., 2010. Effect of whole wheat flour moistening and extrusion-cooking screw speed on the SME process and expansion ratio of precooked pasta products. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln. PAN Oddział w Lublinie* 10, 517–526.
- Wójtowicz A., Mościcki L., 2009. Influence of extrusion-cooking parameters on some quality aspects of precooked pasta-like products. *J. Food Sci.* 74(5), 226–233.

Wójtowicz A., Mościcki L., 2008. Energy consumption during extrusion-cooking of precooked pasta. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln. PAN Oddział w Lublinie* 8, 311–318.

Yalla S., Manthey F., 2006. Effect of semolina and absorption level on extrusion of spaghetti containing non-traditional ingredients. *J. Sci. Food Agric.* 86, 841–848.

INFLUENCE OF FLOUR TYPE AND SCREW SPEED ON EXTRUSION-COOKING PROCESS EFFICIENCY, ENERGY CONSUMPTION AND EXPANSION RATIO OF PRECOOKED PASTA

Abstract. This paper presents the results of process efficiency, energy consumption during the extrusion-cooking and the radial expansion ratio of precooked pasta. As the raw materials commercial flours were used: purified wheat flour, wholegrain wheat flour, purified spelt flour and wholegrain spelt flour. Pasta were prepared at 65–105°C using single screw extrusion-cooker with a modified cooling-forming section at 30% of raw materials moisture content. The efficiency during processing and specific mechanical energy (SME) depending on extrusion parameters and the raw materials used were recorded and the radial expansion ratios of prepared products were measured. Spelt pasta was characterized by a higher protein, ash and fiber content than refined wheat flour pasta, which influenced on lower processing efficiency. Efficiency of extrusion-cooking process during the manufacture of pasta products from different raw materials increased with the increasing screw speed. SME values ranged from 0.06 to 0.21 kWh·kg⁻¹, and were dependent on both the raw materials used and the screw speed applied. The use of wheat and spelt wholegrain flours to obtain precooked products lowered expansion ratios of pasta, especially at higher screw speeds used during processing.

Key words: precooked pasta, extrusion-cooking, whole meal flour, spelt, SME, expansion

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 24.12.2012