

ALDONA SOBOTA, ZBIGNIEW RZEDZICKI, PIOTR ZARZYCKI,  
ANNA WIRKIJOWSKA, EMILIA SYKUT-DOMAŃSKA

## ZMIANY ZAWARTOŚCI TŁUSZCZU WOLNEGO W CZASIE PROCESU PRODUKCJI MAKARONU JAJECZNEGO

### Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu procesu produkcji makaronu 4-jajecznego na stopień wiązania tłuszczu przez polisacharydy i białka zawarte w półproduktach i w produkcie finalnym. Makaron produkowano w warunkach przemysłowych na linii typu C300 metodą ekstruzji niskotemperaturowej. Dodatkowo, w celu porównania, przygotowano makaron z ciasta ręcznie zagniecionego i walcowanego. W próbkach mąki, ciasta i makaronów, pobieranych na kolejnych etapach produkcji, oznaczano zawartość tłuszczu wolnego (ekstrahowanego eterem dietylowym) oraz zawartość tłuszczu całkowitego (ekstrahowanego eterem dietylowym po uprzedniej kwasowej hydrolizie próbek). Zawartość tłuszczu związanego wyliczano z różnicy pomiędzy tłuszczem całkowitym i wolnym. W badaniach wykazano, że w trakcie procesu produkcji makaronu dochodziło do intensywnego wiązania tłuszczu i zmniejszania zawartości tłuszczu wolnego. Niewielkie zmiany występowały już na etapie tworzenia ciasta makaronowego. Zmiany te pogłębiały się na kolejnych etapach procesu produkcji. Szczególnie intensywne zmniejszanie zawartości tłuszczu wolnego zachodziło na etapie wstępnego suszenia, podczas którego obserwowano także znaczący ubytek wilgoci w makaronie. W produkcie finalnym 38 % tłuszczu całkowitego występowało w formie związanej. Jednocześnie stwierdzono, że zawartość tłuszczu wolnego w wysuszonym makronie wynosiła 1,83 % s.m. i była znacznie mniejsza od zalecanej w Polskiej Normie w przypadku produktów 4-jajecznych. W makronie ręcznie zagniatanym i walcowanym stwierdzono znacznie mniejszy stopień wiązania tłuszczu (27 %). Zawartość tłuszczu wolnego w tym produkcie wynosiła 2,3 % s.m. Uzyskane wyniki badań wskazują, że zawartość tłuszczu wolnego nie jest odpowiednim parametrem do szacowania liczby jaj w makaronie. O zawartości tłuszczu wolnego w produkcie finalnym decyduje nie tylko ilość surowców jajowych wprowadzonych do produktu, ale także stosowana technologia.

**Słowa kluczowe:** mąka makaronowa, masa jajowa, makaron, wiązanie tłuszczu, ekstruzja niskotemperaturowa, tłuszcz wolny, tłuszcz związany

## Wprowadzenie

Do produkcji makaronów jajecznych stosuje się najczęściej mąkę z pszenicy zwyczajnej typu 450, wodę i surowce jajowe, m.in. pasteryzowaną masę jajową lub proszek jajowy. Jaja są bogatym źródłem pełnowartościowego białka (12,6 % m.m.), zawierają również ok. 10,8 % tłuszczu (m.m.), są zasobne w witaminy z grupy B oraz witaminy A, D, E i K, związki mineralne (fosfor, jod, selen, żelazo) i składniki bioaktywne (m.in. lizozym, cystatynę, awidynę, owotransferynę) [12, 23]. Dodatek jaj do makaronów ma nie tylko wzbogacić ich wartość żywieniową, ale także wpłynąć na poprawę jakości kulinarnej i sensorycznej produktów. W czasie tworzenia ciasta makaronowego albuminy zawarte w jajach tworzą wiązania disulfidowe (-S-S-) z białkami glutenu i współuczestniczą w tworzeniu siatki glutenowej, odpowiedzialnej za teksturę i jędrność produktów po ugotowaniu [4, 26]. Dużą rolę w kształtowaniu jakości kulinarnej produktów przypisuje się tłuszczom. Obecne w żółtku jaj monoacyloglicerole oraz wolne kwasy tłuszczowe wchodzi w interakcje z amylozą w czasie gotowania makaronu i ograniczają jej rozpuszczalność w wodzie. Wpływa to na większą jędrność i mniejszą powierzchniową kleistość ugotowanych produktów. Lecytyna obecna w żółtku jaja zwiększa plastyczność ugniatanego ciasta, ułatwia jego kształtowanie, zapobiega sklejanemu się makaronu po wytlóczeniu i ugotowaniu. Dodatkowo żółtka jaj zawierają barwniki karotenoidowe, głównie ksantofile (kryptoksantynę, luteinę i zeaksantynę) oraz karoteny ( $\beta$ -karoten i chlorofil), które nadają produktom wytworzonym z mąki pszennej pożądaną, jasnożółtą barwę [12, 21].

Zgodnie z Polską Normą [19], na podstawie zawartości tłuszczu w makaronach można weryfikować „jajeczność” produktów (liczbę jaj dodanych na 1 kg mąki w czasie procesu produkcji). Przyjmuje się, że przeciętna zawartość tłuszczu w makaronie bezjajecznym wynosi 0,4 % (m.m.), natomiast każde jajo dodane na 1 kg mąki powoduje wzrost zawartości tłuszczu o 0,5 %. Zgodnie z założeniami PN makaron dwujajeczny powinien więc zawierać 1,4 % tłuszczu, natomiast makaron czterojajeczny – 2,4 %. Metoda stosowana do oznaczania zawartości tłuszczu w makaronach nie przewiduje hydrolizy kwasowej próbki przed ekstrakcją tłuszczu. Zalecany do ekstrakcji rozpuszczalnik niepolarny (eter dietylowy) umożliwia jedynie oznaczenie zawartości tzw. tłuszczu wolnego.

Intensywne wiązanie wolnych tłuszczów w czasie procesu produkcji może skutkować zmniejszeniem ich zawartości w makaronie. Mniejszą zawartość tłuszczu wolnego w ekstrudowanych makaronach bezjajecznych, w porównaniu z surowcem, oznaczyli m.in. Barnes i wsp. [2] oraz Sobota i wsp. [22]. Według danych literaturowych, stopień wiązania tłuszczu może być zmienny i zależy zarówno od właściwości fizykochemicznych surowca, jak i parametrów procesu [6, 9, 10, 29]. O intensywności wiązania tłuszczu może decydować również stosowana technologia makaronu. Zastosowanie ekstruzji niskotemperaturowej, w czasie której ciasto poddawane jest

intensywnemu ścinaniu i tłoczeniu pod ciśnieniem nawet 13 MPa, może prowadzić do uszkodzenia granul skrobiowych i częściowej żelifikacji skrobi, a w konsekwencji może sprzyjać procesom wiązania tłuszczu przez amylozę [17]. Jak podają Guzman i wsp. [9], w wyniku procesu ekstruzji prowadzonej w niskiej temperaturze (50 - 60 °C) nawet 2/3 wolnych tłuszczów obecnych w kaszce kukurydzianej ulega wiązaniu przez amylozę. Nasuwa się więc pytanie – czy na podstawie zawartości tłuszczu wolnego można prawidłowo oszacować liczbę jaj w makaronie. Z badań Suwały [25] wynika, że 2/3 badanych makaronów 2- i 5-jajecznych, dostępnych na polskim rynku, cechowało się mniejszą zawartością tłuszczu wolnego w stosunku do poziomu określonego w PN [19]. Według tego autora istnieje podstawa do stwierdzenia, że znaczna część makaronów jajecznych jest zafałszowana i zawiera mniejszą liczbę jaj w porównaniu z deklarowaną przez producentów na opakowaniu. Na podstawie przytoczonych danych można przypuszczać, że mała zawartość tłuszczu wolnego w makaronach nie wynika wyłącznie z nierzetelnego dozowania masy jajowej. Istotną rolę może odgrywać proces wiązania tłuszczów przez białka i polisacharydy w czasie produkcji makaronów.

Celem pracy było określenie wpływu procesu produkcji na zawartość tłuszczu wolnego i tłuszczu związanego w makaronie jajecznym. Zbadano stopień kompleksowania tłuszczów na kolejnych etapach produkcji makaronu.

### Material i metody badań

Surowcami użytymi do produkcji makaronu były: mąka makaronowa zwyczajna typu 450 (P.Z.Z. Kraków, Polska) oraz pasteryzowana i homogenizowana masa jajowa (Koźlakiewicz Sp. j., Wiśniewo k. Mławy, Polska). Scharakteryzowano jakość mąki, oznaczając w niej: zawartość glutenu mokrego, liczbę opadania, zawartość związków mineralnych w postaci popiołu [1], skład granulometryczny mąki [22] oraz wyliczono średnicę zastępczą cząstek [11] – tab. 1.

Tabela 1. Parametry jakościowe i skład frakcyjny mąki makaronowej  
Table 1. Quality parameters and fractional composition of pasta flour

Zawartość glutenu Gluten content [%]	Liczba opadania Falling number [s]	Zawartość popiołu Ash content [%]	Skład frakcyjny Fractional composition [%]						Średnica zastępcza The equivalent diameter [µm]
			> 315 [µm]	250 - 315 [µm]	160 - 250 [µm]	125 - 160 [µm]	80 - 125 [µm]	< 80 [µm]	
28,33 ± 0,62	362 ± 18,27	0,42 ± 0,03	1	3	60	17	11	8	176,5

Objaśnienie: / Explanatory note:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviation.; n = 3.

Makaron w formie nitek zwijanych w gniazdka produkowano na przemysłowej linii do produkcji makaronu typu C300 (La Parmigiana S.R.L, Parma, Włochy) w Wytwórni Makaronu Domowego Pol-Mak S.A. w Ludwinie. Zastosowano następujące parametry procesu produkcji: dozowanie mąki – 190 kg/h, dozowanie masy jajowej 38 kg/h (20 kg masy/100 kg mąki), dozowanie wody 21 l/h. Wszystkie surowce wstępnie mieszano w premikserze, następnie kolejno w dwóch mieszarkach: I i II. Przy mieszaniu składników ciasta nie stosowano próżni. Przygotowane ciasto kierowano do cylindra ekstrudera jednoślimakowego (typ C300, La Parmigiana S.R.L, Parma, Włochy), gdzie następowało stopniowe jego ugniatanie, uplastycznianie i sprężanie. Obrotы ślimaka ekstrudera wynosiły 17 obr./min, ciśnienie tłoczenia makaronu – 8,7 ÷ 8,8 MPa, temperatura głowicy – 41 °C, temperatura cylindra ekstrudera – 39 °C.

Tabela 2. Model doświadczenia

Table 2. Model of the experiment

Symbol próby Samples	Opis prób Description of the samples	Wilgotność Moisture [%]
C1	Ciasto z I mieszarki Dough from mixer	30,84 <sup>f</sup> ± 0,11
C2	Ciasto z II mieszarki Dough from mixer II	30,54 <sup>f</sup> ± 0,25
C3	Ciasto po tłoczeniu Dough after extrusion	29,31 <sup>e</sup> ± 0,04
MT	Makaron po wstępnym suszeniu Pasta after preliminary drying	26,95 <sup>d</sup> ± 0,05
MS1	Makaron po 2 h suszenia Pasta after 2 h drying	14,14 <sup>c</sup> ± 0,21
MS2	Makaron po 3,5 h suszenia Pasta after 3.5 h drying	12,63 <sup>b</sup> ± 0,43
MS3	Makaron po 5 h suszenia Pasta after 5 h drying	11,91 <sup>ab</sup> ± 0,49
MS4	Makaron po 7 h suszenia Pasta after 7 h drying	11,07 <sup>a</sup> ± 0,37
CW	Ciasto ręcznie zagniecione i walcowane Manually kneaded and laminated dough	34,23 <sup>g</sup> ± 0,02
MW	Makaron z ciasta ręcznie zagniecionego i walcowanego, po 7 h suszenia / Pasta made of manually kneaded and laminated dough, after 7 h drying	11,39 <sup>a</sup> ± 0,19

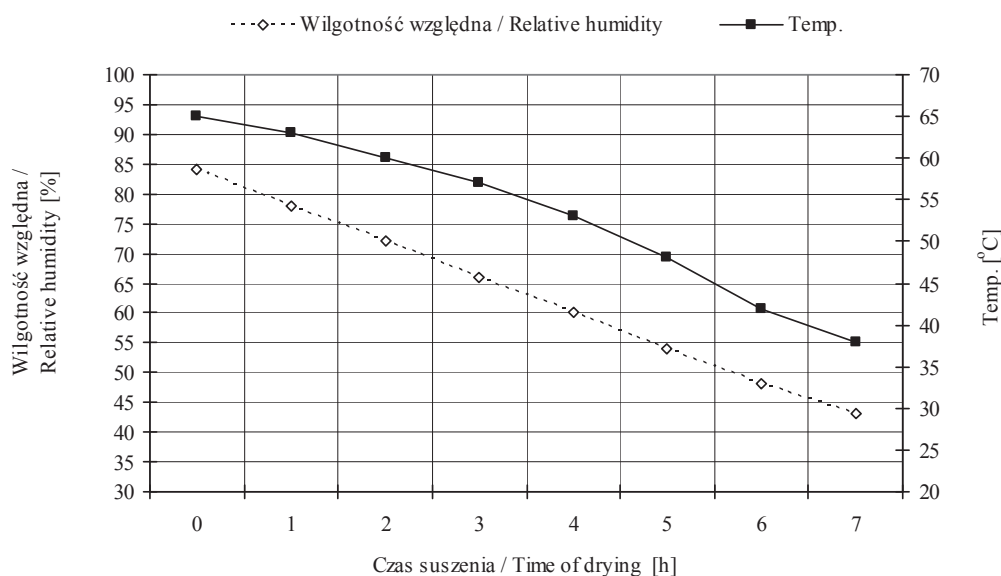
Objaśnienia: / Explanatory notes:

wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 3;

wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się od siebie statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) /

mean values denoted by the same letters do not differ statistically significantly (p ≤ 0.05).

W celach porównawczych z tych samych surowców przygotowano próbę ciasta ręcznie zagniecionego (1 kg mąki, 200 g masy jajowej i 150 ml wody). Następnie ciasto walcowano do cienkich arkuszy, krojono w maszynie do makaronu Atlas 180 (Marcato S.p.A., Campodarsego, Włochy) zwijano w gniazdka i suszono. Model doświadczenia przedstawiono w tab. 2.



Rys. 1. Zmiany temperatury i wilgotności względnej powietrza w czasie suszenia makaronu  
Fig. 1. Changes in air temperature and relative humidity of air during pasta drying

Wyprodukowany makaron układano na sitach i kierowano do suszenia. Proces wstępnego suszenia prowadzono przez ok. 2 min w temp. 75 °C. Następnie makaron kierowano do suszarni komorowych, 4-wózkowych typu ESS 4C (La Parmigiana S.R.L. Parma, Włochy). Parametry suszenia makaronu przedstawiono na rys. 1.

W surowcach użytych do produkcji oraz w próbkach ciasta i makaronu oznaczano wilgotność zgodnie z metodą AACC, 44-15A [1]. Z poszczególnych etapów procesu produkcji pobierano po ok. 1 kg uśrednionej próbki mąki, ciasta i makaronu do oznaczania zawartości tłuszczu. Zawartość tłuszczu wolnego oznaczano według PN-A-74131:1999 (rozpuszczalnik: eter dietylowy) [19]. Zawartość tłuszczu całkowitego oznaczano metodą Weibulla-Stoldta, poddając próbę uprzedniej hydrolizie roztworem kwasu solnego [13]. Tłuszcz z hydrolizatu kwasowego ekstrahowano eterem dietylowym. Z różnicy pomiędzy zawartością tłuszczu całkowitego i wolnego wyliczano zawartość tłuszczu związanego.

Zawartość tłuszczu całkowitego w pasteryzowanej masie jajowej oznaczano po uprzedniej hydrolizie próbek w stężonym kwasie solnym. Do ekstrakcji tłuszczu stosowano mieszaninę eteru dietylowego i naftowego w stosunku 1 : 1 (v/v). Jednocześnie masę jajową poddawano liofilizacji. Proces prowadzono w liofilizatorze Labconco FreeZone 12 (Kansas City, USA), stosując temperaturę kolektora -50 °C. Suszenie sublimacyjne prowadzono w temp. 30 °C, przy ciśnieniu 0,09 mBar, w ciągu 48 h. W liofilizowanej masie jajowej oznaczano zawartość tłuszczu wolnego metodą Soxhle-ta, stosując do ekstrakcji tłuszczu mieszaninę eteru dietylowego i naftowego w stosunku 1 : 1 (v/v) [13]. W celu porównania wyników z danymi literaturowymi zawartość tłuszczu podano w przeliczeniu na mokrą (m.m.) i suchą (s.m.) masę próbek.

Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach. Analizę statystyczną wyników wykonano w programie SAS ver. 9.2. Obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe oraz określono istotność różnic między wybranymi wartościami średnimi (test Duncana,  $p \leq 0,05$ ).

### Wyniki i dyskusja

W mące makaronowej użytej w doświadczeniu zawartość tłuszczu całkowitego wynosiła 1,48 % s.m., w tym tłuszcz wolny stanowił 55 % (tab. 3).

Tabela 3. Skład chemiczny surowców użytych do produkcji makaronu

Table 3. Chemical composition of raw materials used to produce pasta

Surowiec Raw material	Wilgotność Moisture [%]	Sucha masa Dry mater [%]	Zawartość tłuszczu wolnego Free fat content		Zawartość tłuszczu całkowitego Total fat content		Tłuszcz wolny [% tłuszczu całkowitego] Free fat [% of total fat]
			[% m.m.] [% w.b.]	[% s.m.] [% d.m.]	[% m.m.] [% w.b.]	[% s.m.] [% d.m.]	
Masa jajowa Egg mass	76,93 ± 0,02	23,07 ± 0,02	7,15 ± 0,02	30,99 ± 0,08	8,39 ± 0,14	36,37 ± 0,61	85
Mąka makaronowa Pasta flour	14,14 ± 0,06	85,86 ± 0,06	0,7 ± 0,06	0,81 ± 0,07	1,27 ± 0,06	1,48 ± 0,07	55

Objaśnienie: / Explanatory note:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviation.; n = 3.

Podobnie według Pomeranza [20] zawartość tłuszczu całkowitego w mące wynosi 1,4 % s.m., a tłuszczu wolnego – 0,8 % (57 % tłuszczu całkowitego). Zawartość tłuszczu w mące pszennej zależy nie tylko od cech gatunkowych i odmiany pszenicy, ale również od warunków uprawy zboża, parametrów przemiału ziarna i metody ekstrakcji

tłuszczów [3, 16]. Według Gąsiorowskiego [7] zawartość tłuszczu w ziarnie pszenicy może być zmienna w zakresie  $0,9 \div 3,3$  %. Autor twierdzi, że 45 % tłuszczów znajduje się w bielmie właściwym ziarniaka, co wskazuje, że zawartość tłuszczu w mące pozyskanej z bielma może być zróżnicowana w przedziale  $0,4 \div 1,5$  %. W porównaniu z mąką z pszenicy zwyczajnej, znacznie zasobniejsze w tłuszcz są produkty przemiału pszenicy durum. Semolina i mąka makaronowa durum zawierają około  $1,8 \div 2$  % tłuszczu [2, 15].

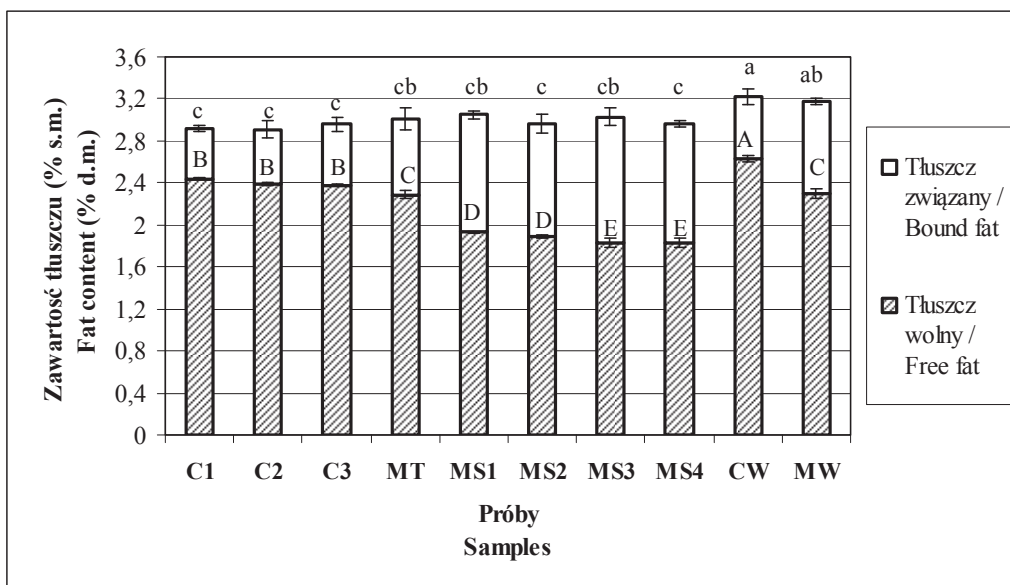
Prowadzone od lat badania dowodzą znaczącego wpływu natywnych tłuszczów mąki na tworzenie ciasta makaronowego i jakość kulinarną makaronów [14]. W mące pszennej występują dwie grupy lipidów: wolne (głównie niepolarne) i związane (głównie polarne). Do lipidów niepolarnych zalicza się tri- di- i monoacyloglicerole oraz wolne kwasy tłuszczowe, natomiast do polarnych: glikolipidy i fosfolipidy [16, 20]. Szczególnie dużą rolę przypisuje się lipidom wolnym. Na etapie tworzenia ciasta makaronowego wchodzi one w interakcje z białkami i współuczestniczą w tworzeniu matrycy glutenowej [4, 28]. W czasie gotowania makaronu wolne kwasy tłuszczowe i monoacyloglicerole mogą być kompleksowane przez amylozę. W wyniku tych interakcji zmniejsza się rozpuszczalność amylozy w wodzie, co prowadzi do mniejszych strat suchej masy podczas gotowania i wpływa na mniejszą powierzchniową kleistość makaronu [14, 15]. Matsuo i wsp. [14] dowodzą, że wolne tłuszcze obecne w mące makaronowej zmniejszają podatność makaronu na rozgotowanie, natomiast Niihara i wsp. [15] twierdzą, że korzystnie wpływają one na jędrność ugotowanych produktów.

Poza natywnymi tłuszczami mąki, w kształtowaniu jakości kulinarnej makaronów jajecznych udział biorą również tłuszcze obecne w surowcach jajecznych [15, 28], dlatego ważna jest zarówno ich zawartość, jak też skład frakcyjny.

Pasteryzowana masa jajowa użyta w doświadczeniu cechowała się stosunkowo małą zawartością tłuszczu całkowitego (8,39 % m.m.), w którym około 85 % stanowił tłuszcz wolny (tab. 3). W surowcu tym zawartość suchej masy wynosiła 23,07 % (tab. 3). Według Polskiej Normy zawartość tłuszczów w masie jajowej nie powinna być mniejsza od 9,8 % (m.m.), a sucha masa powinna stanowić nie mniej niż 23,5 % (m.m.) [18]. Sparks [23] podaje, że przeciętna zawartość tłuszczu w jajach kształtuje się na poziomie 11 % m.m., a średnia zawartość suchej masy wynosi 26 %. Ponad 99 % tłuszczu obecnego w jajach zlokalizowane jest w żółtku. Sinanoglou i wsp. [21] twierdzą, że w tłuszczu obecnym w żółtkach jaj przeważają tłuszcze wolne ( $61,6 \div 72,75$  %), w których ilościowo największą frakcję stanowią triacyloglicerole ( $58,3 \div 66,6$  %). Tłuszcze polarne to głównie fosfatydylocholina (lecytyna), stanowiąca około  $20 \div 30$  % ogółu tłuszczów [12, 21].

W badaniach własnych potwierdzono, że w czasie procesu produkcji makaronu jajecznego doszło do intensywnego kompleksowania tłuszczu (rys. 2). Przy zawartości tłuszczu całkowitego  $2,91 \div 3,05$  % s.m. (próby: C1 i MS1), zawartość tłuszczu wol-

nego w próbkach zmniejszała się na kolejnych etapach produkcji makaronu. Najmniej-  
 sze, statystycznie nieistotne ( $p \leq 0,05$ ) zmiany zawartości tłuszczu wolnego zaobser-  
 rowano na etapie tworzenia ciasta makaronowego i tłoczenia makaronu (próby: C1,  
 C2 i C3). Na tych etapach zawartość tłuszczu wolnego zmieniała się w zakresie  $2,44 \div$   
 $2,38$  % s.m. (rys. 2). Znaczące zmniejszenie zawartości tłuszczu wolnego wystąpiło  
 dopiero na etapie wstępnego suszenia makaronu (próba MT) oraz w czasie pierwszych  
 dwóch godzin suszenia właściwego w suszarni komorowej (próba MS1) (rys. 2).  
 Zmianom zawartości tłuszczu wolnego towarzyszyła znacząca redukcja wilgotności  
 próbek. Wstępne suszenie makaronu zmniejszyło wilgotność z 29,31 do 26,95 %, na-  
 tomiaś kolejne dwie godziny suszenia właściwego zredukowały wilgotność makaronu



Objaśnienie: / Explanatory notes:

C1 – ciasto z I mieszarki / dough from the I mixer; C2 – ciasto z II mieszarki / dough from the II mixer;  
 C3 – ciasto po tłoczeniu / dough after extrusion; MT – makaron po wstępnym suszeniu / pasta after drying  
 in trabatto ; MS1 – makaron po 2 h suszenia / pasta after 2 h drying; MS2 – makaron po 3,5 h suszenia /  
 pasta after 3.5 h drying; MS3 – makaron po 5 h suszenia / pasta after 5 h drying; MS4 – makaron po 7 h  
 suszenia / pasta after 7 h drying; CW – ciasto ręcznie zagniecione i walcowane / manually kneaded and  
 laminated dough; MW – makaron z ciasta ręcznie zagniecione i walcowanego po 7 h suszenia / pasta  
 with manually kneaded and laminated dough, after 7 h drying;

a, b, c; A, B, C, D, E – wartości średnie oznaczone takimi samymi małymi w odniesieniu do tłuszczu  
 związanego i takimi samymi dużymi literami dla tłuszczu wolnego nie różnią się statystycznie istotnie  
 ( $p \leq 0,05$ ) / mean values denoted by the same small letters for bound fat and the same capital letters for free  
 fat are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

Rys. 2. Zawartość tłuszczu w próbkach na kolejnych etapach procesu produkcji makaronu jajecznego.

Fig. 2. Content of fat in samples at consecutive stages of egg pasta production process.



do poziomu 14,14 % (tab. 2). Wraz z upływem czasu suszenia i redukcją wilgotności obserwowano stopniowy ubytek tłuszczu wolnego. W produkcie finalnym (próba MS4) jego zawartość wynosiła 1,83 % s.m. (rys. 2) i była znacznie mniejsza od zawartości przewidzianej w PN dla makaronu 4-jajecznego (2,4 % m.m.).

Większą zawartość tłuszczu wolnego (2,3 % s.m.) oznaczono w makaronie wytworzonym z ciasta ręcznie zagniatanego i walcowanego (próba MW). Makaron ten był suszony w takich samych warunkach jak pozostałe próbki. W tym przypadku również nastąpiła redukcja zawartości tłuszczu wolnego, jednak stwierdzone zmiany były mniejsze w porównaniu z makaronem produkowanym metodą ekstruzji niskotemperaturowej (rys. 2). Tłuszcz związany stanowił w tym makaronie około 27 % ogółu tłuszczów, podczas gdy w makaronie tłoczonym – około 38 %.

Wielu autorów podkreśla, że mechanizm wiązania tłuszczów w trakcie procesu produkcji makaronów nie został do końca poznany [2, 15]. Dane literaturowe wskazują, że na etapie tworzenia ciasta wolne tłuszcze obecne w surowcach makaronowych mogą wchodzić w interakcje z białkami glutenu. W obecności wody następuje zbliżenie do siebie niepolarnych grup tłuszczów i białek, a to może prowadzić do wytworzenia między nimi oddziaływań van der Waalsa [7, 24]. Stosunkowo niewielkie siły, wspomagane przez wiązania wodorowe otaczających cząsteczek wody, mogą prowadzić do powstania stosunkowo trwałych kompleksów [7, 24]. W czasie mieszenia ciasta chlebowego w wyniku tego typu interakcji nawet 2/3 wolnych tłuszczów może zostać włączone w strukturę siatki glutenowej [7, 16]. Przeprowadzone badania własne nie potwierdziły jednak tak dużego wiązania tłuszczów na etapie tworzenia ciasta makaronowego. Jak twierdzą Barnes i wsp. [2], mniejszy stopień uwodnienia mąki (wilgotność około 30 %) i większa granulacja surowca mogą ograniczać tworzenie trwałych kompleksów tłuszczowo-białkowych. Wymienieni autorzy podkreślają, że powstające na etapie tworzenia ciasta oddziaływania hydrofobowe pomiędzy niepolarnymi tłuszczami i białkami nie są wystarczająco trwałe, aby uniemożliwić ekstrakcję tłuszczu niepolarnymi rozpuszczalnikami. Barnes i wsp. [2], prowadząc badania nad stopniem wiązania tłuszczów w czasie procesu produkcji makaronów z semoliny, stwierdzili największe zmniejszenie zawartości tłuszczu wolnego nie na etapie tworzenia ciasta, lecz na etapie wstępnego suszenia makaronu. Jednocześnie wykazali oni znaczną redukcję wilgotności produktów (z 29 do 18 %).

Wyniki badań własnych są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Barnesę i wsp. [2]. Również w przypadku makaronów jajecznych największy stopień kompleksowania tłuszczu miał miejsce na etapie intensywnego suszenia produktu. Według Barnesę i wsp. [2] intensywne wiązanie tłuszczów jest spowodowane zmianą stanu fizycznego wody. Słabe oddziaływania, np. hydrofobowe, powstające na etapie tworzenia i kształtowania ciasta makaronowego, prowadzą do włączenia tłuszczów w skrobiowo-białkową strukturę ciasta. W wyniku intensywnego odwodnienia makaronu tłuszcze

zostają „mechanicznie” uwięzione w tej strukturze i stają się niedostępne dla niepolarnych rozpuszczalników.

Intensywność wiązania tłuszczów w czasie procesu produkcji makaronów może być także zależna od stopnia żelifikacji skrobi. W wyniku kleikowania skrobi uwolnione łańcuchy amylozy mogą włączać w swoje helikalne struktury wolne kwasy tłuszczowe i monoacyloglicerole [5, 6]. Skompleksowane w ten sposób tłuszcze stają się niedostępne dla rozpuszczalników niepolarnych. Stopień żelifikacji skrobi w czasie procesu produkcji makaronów może być zmienny i zależy od wielu czynników. Zardetto i wsp. [27] twierdzą, że duże znaczenie ma stosowana technologia. Zdaniem tych autorów makarony produkowane metodą ekstruzji niskotemperaturowej cechują się znacznie większym stopniem żelifikacji skrobi w porównaniu z produktami laminowanymi (walcowanymi). Skrobia obecna w makaronie ekstrudowanym wykazuje większą podatność na wiązanie tłuszczów w porównaniu ze skrobią obecną w makaronach walcowanych. Gomez i Aguilera [8] dowodzą, że w przypadku produktów ekstrudowanych stopień żelifikacji skrobi jest zależny od wartości SME (*Specific Mechanical Energy*). Według Guzmána i wsp. [9] wzrost temperatury ekstruzji oraz wydłużenie czasu retencji materiału w ekstruderze sprzyjają zwiększonej żelifikacji skrobi, a w konsekwencji wpływają na zwiększone wiązanie tłuszczów.

Proces częściowego kleikowania skrobi zachodzi również w czasie suszenia makaronu. Petitot i wsp. [17] uważają, że odpowiednio wysoka temperatura i stosunkowo wysoka wilgotność produktu w pierwszej fazie suszenia mogą indukować proces żelifikacji granul skrobiowych. Zhang i wsp. [29] oraz Güler i wsp. [10] twierdzą, że stopień kleikowania skrobi zależy w głównej mierze od temperatury procesu. Jednak zdania autorów na temat kierunkowości wpływu tego parametru są podzielone. Zhang i wsp. [29] wykazali, że zastosowanie wysokiej ( $70 \div 75$  °C) i bardzo wysokiej ( $> 80$  °C) temperatury suszenia makaronu intensyfikuje proces żelifikacji skrobi i jednocześnie sprzyja powstawaniu kompleksów amylozowo-lipidowych. Podobnie twierdzą Petitot i wsp. [17]. Przeciwną tendencję zaobserwowali Güler i wsp. [10]. Według tych autorów bardzo wysoka temperatura suszenia powoduje szybkie odwodnienie produktu. W takich warunkach pęcznienie i kleikowanie granul skrobiowych jest ograniczone. Jednocześnie twierdzą oni, że intensywniejsze powstawanie kompleksów skrobiowo-tłuszczowych ma miejsce w czasie suszenia produktów w niższej temperaturze ( $60 \div 67$  °C).

W badaniach własnych wykazano, że w czasie procesu produkcji makaronów jajecznych, w wyniku wiązania tłuszczów, znacząco zmniejszyła się zawartość tłuszczu wolnego. Stopień wiązania tłuszczu był zmienny i zależał od stosowanej technologii produkcji makaronu. Dowiedziono, że zawartość tłuszczu wolnego w makaronach jajecznych nie jest miarodajnym wyznacznikiem liczby jaj w makaronie. O zawartości tłuszczu wolnego w produkcie finalnym może decydować nie tylko ilość wprowadzo-

nej masy jajowej, ale także specyfika surowca, technologia produkcji i parametry procesu. Jeżeli liczba jaj w makaronie ma być w dalszym ciągu szacowana na podstawie zawartość tłuszczu w produkcie, to bardziej miarodajnym parametrem jest zawartość tłuszczu całkowitego. Wykazano, że zawartość tłuszczów w hydrolizacie kwasowym nie różniła się znacząco w próbkach pobranych z kolejnych etapów procesu produkcji. Jeśli nadal miarą „jajeczności” makaronów ma być zawartość tłuszczu wolnego, konieczne jest przeprowadzenie dalszych, wielokierunkowych badań, mających na celu szczegółowe określenie wpływu cech surowca, parametrów procesu tłoczenia (temperatury, ciśnienia, czasu retencji materiału w ekstruderze) i parametrów suszenia makaronu na stopień wiązania tłuszczu. Wyniki badań powinny być podstawą do weryfikacji Polskiej Normy.

### **Wnioski**

1. W czasie procesu produkcji makaronu jajecznego następowało wiązanie tłuszczu przez białka i polisacharydy, w wyniku czego zawartość tłuszczu wolnego w produkcie finalnym zmniejszyła się o około 25 %.
2. Największe zmiany zawartości tłuszczu wolnego stwierdzono na etapie wstępnego suszenia makaronu i w czasie pierwszych godzin suszenia właściwego wraz ze znaczącą redukcją wilgotności produktów.
3. Stopień wiązania tłuszczu uzależniony był od stosowanej technologii produkcji makaronu. W makaronie produkowanym metodą ekstruzji niskotemperaturowej stopień wiązania tłuszczu był wyższy niż w makaronie ręcznie zagniatanym i walcowanym.
4. Dowiedziono, że zawartość tłuszczu wolnego nie jest odpowiednim parametrem do szacowania liczby jaj w makaronie, stąd wskazuje się na konieczność weryfikacji istniejącej Polskiej Normy.

*Składamy serdeczne podziękowania Wytwórni Makaronu Domowego Pol-Mak S.A. w Ludwinie za udostępnienie linii produkcyjnej i umożliwienie przeprowadzenia badań.*

### **Literatura**

- [1] AACC, Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, American of Cereal Chemists, St, Paul, Minnesota, USA, 2000.
- [2] Barnes P.J., Day K.W., Schofield J.D.: Commercial pasta manufacture: changes in lipid binding during processing of durum wheat semolina. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1981, **172**, 373-376.
- [3] Biel W., Maciorowski R.: Ocena wartości odżywczej ziarna wybranych odmian pszenicy. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2012, **2 (81)**, 45-55.

- [4] Bonet A., Błaszczak W., Rosell C.M.: Formation of homopolymers and heteropolymers between wheat flour and several protein sources by transglutaminase-catalyzed cross-linking. *Cereal Chem.*, 2006, **6 (83)**, 655-662.
- [5] Copeland L., Blazek J., Salman H., Chiming Tang M.: Form and functionality of starch. *Food Hydrocoll.*, 2009, **23**, 1527-1534.
- [6] De Pilli T., Derossi A., Talja R.A., Jouppila K., Severini C.: Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2011, **4 (12)**, 610-616.
- [7] Gąsiorowski H.: *Pszenica – chemia i technologia. Praca zbiorowa. PWRiL, Poznań 2004.*
- [8] Gomez M.H., Aguilera J.M.: Changes in starch fraction during extrusion cooking of corn. *J. Food Sci.*, 1983, **48**, 378-381.
- [9] Guzman L.B., Lee T.-C., Chichester C.O.: Lipid binding during extrusion cooking. In: *Food Extrusion Science and Technology*. Eds. J.L. Kokini, C.-T. Ho, M.V. Karwe. Marcel Dekker Inc., New York 1992, pp. 427-436.
- [10] Güler S. Köksel H., Ng P.K.W.: Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. *Food Res. Int.*, 2002, **35**, 421-427.
- [11] Kasprzak M., Rzedzicki Z.: Application of grasspea wholemeal in the technology of white bread production. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2012, **62**, 207-213.
- [12] Kijowski J., Leśniewski G., Cegielska-Radziejewska R.: Jaja cennym źródłem składników bioaktywnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, **5 (90)**, 29-41.
- [13] Krelowska-Kułas M.: *Badanie jakości produktów spożywczych. PWE, Warszawa 1993.*
- [14] Matsuo R.R., Dexter J.E., Boudreau A., Duan J.K.: The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. *Cereal Chem.*, 1986, **63**, 484-489.
- [15] Niihara R., Yonezawa D., Matsuo R.R.: Effect of flour lipids on pasta and noodle quality. In: *Pasta and Noodle Technology*. Eds. J.E. Kruger, R.B. Matsuo, J.W. Dick. AACC, St. Paul 1996, pp. 275-300.
- [16] Pareyt B., Finnie S.M., Pusteyns J.A., Delcour J.A.: Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *J. Cereal Sci.*, 2011, **3 (54)**, 266-279.
- [17] Petitot M., Abecassis J, Micard V.: Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends Food Sci. Technol.*, 2009, **20**, 521-532.
- [18] PN-A-86501:1996P. Przetwory jajowe chłodzone i mrożone. Wymagania i metody badań.
- [19] PN-A-74131:1999. Makaron.
- [20] Pomeranz Y.: Composition and functionality of wheat flour components. In: *Wheat Chemistry and Technology*. Eds. Pomeranz. AACC, St. Paul 1988, pp. 219-328.
- [21] Sinanoglou V.J., Strati I.F., Miniadis-Meimaroglou S.: Lipid, fatty acid and carotenoid content of edible egg yolks from avian species: A comparative study. *Food Chem.*, 2011, **3 (124)**, 971-977.
- [22] Sobota A., Rzedzicki Z., Zarzycki P., Kuzawińska E.: Application of common wheat bran for the industrial production of high fibre pasta. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2015, **50**, 111-119.
- [23] Sparks N.H.C.: The hen's egg – is it role in human nutrition changing? *World's Poultry Sci. J.*, 2006, **62**, 308-315.
- [24] Surówka K., Maciejaszek I.: Oddziaływania białkowo-polisacharydowe i ich praktyczne wykorzystanie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **4 (53)**, 17-35.
- [25] Suwała G.: Czynniki determinujące autentyczność makaronów jajecznych. W: *Wybrane aspekty oceny jakości żywności*. Red. R. Zieliński i J. Żuchowski. Wyd. Nauk. Inst. Technol. Eksploatacji – PIB, Radom 2012, ss. 41-48.
- [26] Wang F., Huang W. Kim Y, Liu R, Tilley M.: Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. *J. Cereal Sci.*, 2011, **1 (54)**, 53-59.

- [27] Zardetto S., Dalla Rosa M.: Study of the effect of lamination process on pasta by physical chemical determination and near infrared spectroscopy analysis. *J. Food Eng.*, 2006, **74**, 402-409.
- [28] Zardetto S., Dalla Rosa M.: Effect of extrusion process on properties of cooked, fresh egg pasta. *J. Food Eng.*, 2009, **92**, 70-77.
- [29] Zhang L., Nishizu T., Hayakawa S., Nakdashima R., Goto K.: Effects of different drying conditions on water absorption and gelatinization properties of pasta. *Food Bioprocess Technol.*, 2013, **6**, 2000-2009.

### CHANGES IN CONTENT OF FREE FAT DURING EGG PASTA MANUFACTURING PROCESS

#### S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of 4-egg pasta manufacturing process on the degree of binding fat by polysaccharides and proteins contained in semi-finished and finished products. The pasta was produced under industrial conditions, on a C300 type production line, using a low temperature extrusion method. Additionally, for the purpose of comparison, a sample of pasta was manually kneaded and laminated. In the flour, dough, and pasta samples, taken at the successive production stages, there were analyzed the contents of free fat (extracted with diethyl ether) and total fat (extracted with diethyl ether after the samples underwent acidic hydrolysis). The content of bound fat was calculated based on the difference between the total and free fat content. During the research study, it was proved that, during the manufacturing of pasta, fat was intensely bound and the content of free fat decreased. Minor changes occurred as early as at the stage of forming pasta dough. Those changes became more intense at the successive stages of the pasta production process. Particularly intensive reduction in the content of free fat was found at the preliminary drying stage along with a simultaneous significant reduction in the content of moisture content in the product. It was reported that in the final product, 38% of total fats occurred as a bound form. At the same time, it was found that the content of free fat in the dried pasta was 1.83% of dry mass and it was much lower than that as recommended by the Polish Norm regarding the 4-egg pasta products. A significantly lower degree of fat binding (27 %) was reported in the manually kneaded and laminated pasta. The content of free fat in that product was 2.3 % of dry mass. The study results obtained imply that the content of free fat is not a suitable parameter to estimate the number of eggs in pasta. The free fat content in the final product depends not only on the amount of raw eggs added into the product, but, also, on the production technology applied.

**Key words:** pasta flour, egg mass, pasta, fat binding, low-temperature extrusion, free fat, bound fat 