

OSKAR BROŻEK, KRZYSZTOF BOHDZIEWICZ,
KATARZYNA KIELCZEWSKA

WPLYW HOMOGENIZACJI NA WYBRANE CECHY MLEKA ODTLUSZCZONEGO, SKRZEPU KWASOWEGO I SERWATKI KWASOWEJ

Streszczenie

W pracy określono wpływ homogenizacji jednostopniowej (200, 500, 1000 i 2000 bar) oraz dwustopniowej (200/100 i 500/250 bar) na wybrane właściwości pasteryzowanego mleka odtłuszczonego, skrzepu kwasowego uzyskanego z tego mleka pod wpływem bakterii fermentacji mlekowej oraz wpływu homogenizacji na przejście składników suchej substancji mleka do serwatki. Rozmiar ogółu cząstek mleka odtłuszczonego nie uległ statystycznie istotnej zmianie ($p > 0,05$) w wyniku homogenizacji jednostopniowej przy ciśnieniu 200 bar, natomiast w przypadku homogenizacji dwustopniowej przy ciśnieniu 200/100 bar odnotowano istotny wzrost wielkości cząstek ($p \leq 0,05$). Znaczące zmniejszenie wielkości cząstek nastąpiło w wyniku homogenizacji przy ciśnieniu > 200 bar, zarówno jedno-, jak i dwustopniowej. Obecność dużych cząstek zdefiniowanych średnicą d_{90} i d_{43} w mleku odtłuszczonym była spowodowana prawdopodobnie wpływem wstępnych procesów technologicznych na składniki mleka (wirowanie, pasteryzacja), a zastosowanie ciśnienia homogenizacji > 200 bar wpłynęło na ich eliminację. Odnotowano wpływ dwustopniowej homogenizacji na zmiany parametrów barwy mleka odtłuszczonego: parametru b^* , wskaźnika żółtości, nasycenia oraz różnicy tonu i barwy. Nie wykazano jednoznacznego wpływu ciśnienia homogenizacji na jasność i indeks oddalenia od bieli w badanym mleku. Homogenizacja mleka odtłuszczonego (niezależnie od zastosowanych ciśnień) nie wpłynęła na zatrzymanie składników suchej substancji mleka w skrzepie kwasowym oraz na jego zwięzłość. Świadczą o tym wyniki testu kompresji badanego skrzepu: twardość ($0,43 \div 0,49$ N) i konsystencja ($4,38 \div 4,76$ N·s) oraz składu serwatki (tłuszczu, białka, laktozy, suchej masy). Zastosowanie homogenizacji nie zakłóca przebiegu procesu produkcji serów twarogowych odtłuszczonych i umożliwia otrzymanie produktu o teksturze skrzepu i retencji w nim składników nieróżniących się od skrzepu otrzymanego z mleka odtłuszczonego niehomogenizowanego.

Słowa kluczowe: mleko odtłuszczone, homogenizacja, wielkość cząstek, barwa, skrzep kwasowy, tekstura

Wprowadzenie

W tradycyjnej technologii twarogów mleko ukwaszane jest do punktu izoelektrycznego kazeiny wyłącznie poprzez kwas mlekowy, który syntetyzowany jest przez bakterie fermentacji mlekowej. Uzyskany skrzep zostaje poddany zabiegom mającym doprowadzić do koncentracji składników suchej masy. W wyniku takiego procesu dochodzi do określonej retencji składników mleka. Przemysł mleczarski powszechnie wykorzystuje koagulację białek mleka, w tym kwasową (wyrób mleknych napojów fermentowanych i serów twarogowych) bądź enzymatyczną (np. sery podpuszczkowe). Mechanizmy prowadzące do koagulacji białek mleka są w obu przypadkach bardzo odmienne. Niezależnie od mechanizmu koagulacji białek mleka jakość skrzepu oraz stopień przejścia składników suchej substancji (a tym samym wydatek produkcji) zależne są od wielu czynników. Można do nich zaliczyć: skład chemiczny i jakość mikrobiologiczną mleka, parametry jego chłodniczego przechowywania oraz wstępnej obróbki technologicznej (np. wirowania, pasteryzacji, normalizacji), charakterystyki działania kultur starterowych [1, 3]. Dodatkowo wydatek produkcji zależy od dalszej obróbki po uzyskaniu skrzepu – parametrów obróbki mechanicznej i termicznej skrzepu, gęstwy oraz ziarna czy też warunków prasowania i formowania twarogów, przy czym znaczącą rolę odgrywa również rodzaj przyjętych rozwiązań i stan techniczny urządzeń procesowych [1, 14]. Czynniki związane z jakością skrzepu decydują o podatności na tzw. pylenie, co ma wpływ na wydatek. Im większy wydatek, tym mniej surowca trzeba zużyć do produkcji, a także zmniejsza się ilość ścieków poprodukcyjnych, wynikających z przejścia składników mleka do serwatki i popłuczyn zamiast do skrzepu.

Homogenizacja stosowana głównie w celu ujednoczenia i zmniejszenia rozmiarów kuleczek tłuszczowych skutkuje osłabieniem zdolności podstojowej mleka, co wykorzystywane jest np. w technologii mleka spożywczego. Jest ona także stosowana do ujednoczenia całej masy produktu, np. w wyrobie tzw. homogenizowanych serków twarogowych. W technologii fermentowanych produktów mleczarskich (np. jogurtu) zapewnia stabilność skrzepu i zapobiega synerezie. W produkcji serów homogenizacja jest zazwyczaj procesem niekorzystnym, gdyż wpływa na pogorszenie zwięzłości skrzepu poprzez intensywniejsze wiązanie wody przez micelle kazeinowe mleka [3]. Homogenizacja może wpływać na interakcje białek mleka i skutkować włączeniem białek serwatkowych do skrzepu kwasowego, co decyduje o wydatku procesu wytwórczego. Wpływ homogenizacji wysokociśnieniowej na rozmiar miceli kazeinowych w mleku odtłuszczonego oraz na przebieg koagulacji kwasowej mleka odtłuszczonego i właściwości żelu kwasowego był tematem wcześniejszych badań. Dotyczyły one mleka odtłuszczonego rekonstruowanego [16], a także mleka odtłuszczonego o zwiększonej zawartości suchej substancji poprzez dodatek odtłuszczonego mleka w proszku, przeznaczonego do produkcji jogurtu [17]. Proces homogenizacji wysoko-

ciśnieniowej zwiększa szybkość koagulacji kwasowej oraz podpuszczkowej, zarówno w mleku odtłuszczonym, jak i pełnym, a także zwiększa zwięzłość skrzepu [5, 17]. Serra i wsp. [17] w technologii jogurtu odtłuszczonego zastąpili pasteryzację i homogenizację jednym procesem – ultrawysokociśnieniową homogenizacją i uzyskali produkt o odmiennych właściwościach niż wyrób otrzymywany tradycyjnie. Homogenizacja ultrawysokociśnieniowa ma wpływ na strukturę micel kazeinowych, redukcję ich rozmiarów i zmianę ich składu wskutek oddysocjowania części frakcji do fazy rozpuszczalnej [9, 16, 17]. Ultrawysokociśnieniowa homogenizacja prowadzona w temp. 30 °C ma mniejszy wpływ na zmiany składników mleka (np. powstawanie produktów reakcji Maillarda czy denaturację białek serwatkowych) niż pasteryzacja, co wskazuje na potencjał homogenizacji, jako alternatywnej metody utrwalania mleka [13]. Badania wpływu homogenizacji na właściwości mleka i produktów mleczarskich zazwyczaj dotyczą jednak aspektów związanych z tłuszczem mlekowym [5]. Mając na uwadze stwierdzony wpływ homogenizacji wysokociśnieniowej na zmniejszenie rozmiaru miceli kazeinowych w mleku odtłuszczonym [16, 17] oraz na poprawę jakości mikrobiologicznej [5] istotne wydaje się określenie roli tego procesu w kształtowaniu cech reologicznych skrzepów kwasowych, a w konsekwencji serów twarogowych produkowanych poprzez przeprowadzenie koagulacji kwasowej. W niniejszej pracy zastosowano homogenizację przy ciśnieniu od 200 do 2000 bar w technologii sera twarogowego produkowanego z mleka odtłuszczonego poddanego koagulacji kwasowej, co jest nowym podejściem w badaniach przedmiotowych, ponieważ w dostępnej literaturze nie rozpatruje się wykorzystywania homogenizacji mleka odtłuszczonego w tym celu.

Maksymalne wykorzystanie składników mleka przyczynia się do redukcji strat i kosztów produkcji twarogów oraz do zmniejszenia ilości odpadów poprodukcyjnych. W zakładach mleczarskich serwatka kwasowa nie zawsze jest kierowana do dalszego przetwórstwa i często stanowi produkt uboczny procesu technologicznego, który jest poddawany kosztownej utylizacji. Im więcej składników mleka pozostaje w skrzepie, tym mniej odpadów poprodukcyjnych jako ścieki wpłynię na zanieczyszczenie środowiska [6].

Celem pracy było określenie wpływu homogenizacji jednostopniowej (200, 500, 1000 i 2000 bar) oraz dwustopniowej (200/100 i 500/250 bar) na wybrane właściwości mleka odtłuszczonego i skrzepu kwasowego uzyskanego z tego mleka pod wpływem bakterii fermentacji mlekowej, a także wpływu homogenizacji na przejście składników suchej substancji mleka do serwatki.

Material i metody badań

Mleko surowe, spełniające ustawowe wymagania jakościowe [15], pozyskano ze Stacji Dydaktyczno-Badawczej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Bałdach.

Wstępne zabiegi technologiczne przeprowadzono w skali „pilot plant” z wykorzystaniem modułu przeznaczonego do standaryzacji tłuszczu oraz pasteryzacji, składającego się z wirówki odtłuszczającej MTC3-03-107 (GEA Westfalia Separator Group GmbH, Oelde, Niemcy) oraz wymiennika płytowego z przytrzymywaczem rurowym (OBRAM, Olsztyn, Polska), którego wydajność układu wynosiła 200 dm³/h. Mleko podgrzewano do temp. 45 °C, wirowano z użyciem wirówki odtłuszczająco-oczyszczającej, po czym poddawano pasteryzacji na płytowym wymienniku w temp. 72 °C przez 15 s i chłodzono do 6 °C. Bezpośrednio przed homogenizacją odtłuszczone mleko podgrzewano do temp. 30 °C i kierowano do homogenizatora Panda Plus 2000 (GEA Niro Soavi, Parma, Włochy). Stosowano homogenizację jedno- oraz dwustopniową z zastosowaniem zróżnicowanych parametrów ciśnienia (tab. 1). Homogenizacja 200 bar stanowiła homogenizację tradycyjną, natomiast > 200 bar była homogenizacją wysokociśnieniową.

Tabela 1. Parametry homogenizacji mleka

Table 1. Milk homogenisation parameters

Próba Sample	Parametry homogenizacji / Homogenisation parameters		
	Temperatura Temperature [°C]	Ciśnienie homogenizacji Homogenisation pressure [bar]	
		I stopień / I stage	II stopień / II stage
A	Mleko niehomogenizowane / Non-homogenised milk		
B	30	200	-
C		500	-
D		1000	-
E		2000	-
F		200	100
G		500	250

Bezpośrednio po zabiegu homogenizacji do mleka dodawano bakterie fermentacji mlekowej – Mesophilic Aromatic Culture DVS CHN-19 (Chr. Hansen, Hoersholm, Dania) w ilości pozwalającej na uzyskanie zakładanej kwasowości po ok. 12 h. Całość umieszczano w zamykanych pojemnikach, podłączano elektrody pH-metryczne oraz czujniki temperatury, po czym termostatowano w inkubatorze BD 240 (Binder GmbH, Tuttingen, Niemcy) w temp. 30,0 ± 0,4 °C do chwili osiągnięcia kwasowości skrzepu pH ok. 4,6. Po osiągnięciu zakładanej kwasowości czynnej przystępowano do oznaczania wybranych cech tekstury, takich jak: twardość, konsystencja, spoistość i indeks lepkości. Po dokonanych pomiarach skrzep krojono, a odczerpaną serwatkę pobierano do dalszych analiz. Do badań użyto mleka odtłuszczonego pasteryzowanego, mleka odtłuszczonego pasteryzowanego po homogenizacji w wymienionych warunkach (pomiar podstawowego składu chemicznego, wielkości cząstek i ich rozkładu oraz bar-

wy), powstałego z nich skrzepu kwasowego (pomiar tekstury) oraz serwatki kwasowej (pomiar podstawowego składu chemicznego).

Pomiary podstawowego składu chemicznego mleka i serwatki kwasowej prowadzono z zastosowaniem MilkoScan™ FT2 (Foss, Hilleroed, Dania).

W pomiarach kwasowości czynnej stosowano wielokanałowy rejestrator Cerko Lab System Multiplekser pH/pC/mV (Cerko Sp. z o.o. Sp.k., Gdańsk, Polska). Zastosowano elektrody zespolone typu ERH-111 (Hydromet s. c., Gliwice, Polska). Równolegle z pomiarem kwasowości kontrolowano temperaturę podczas procesu.

Pomiary wielkości cząstek wykonywano metodą dyfrakcji laserowej za pomocą analizatora Mastersizer 3000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Wielka Brytania) z przystawką HydroEV. Jako dyspergant stosowano wodę dejonizowaną (Millipore Milli-Q, Millipore SAS, Molsheim, Francja). Współczynniki załamania światła mleka i dyspergenta wynosiły odpowiednio: 1,460 i 1,330. Zastosowano model rozpraszania Mie według ISO 13320:2020 [7]. Na podstawie pomiarów określano wielkości opisujące rozmiar cząstek w badanym mleku odtłuszczonym [10]:

- $d_{v,10}$ – poniżej tej wartości znajduje się 10 % całego rozkładu,
 - $d_{v,50}$ – mediana – dzieli rozkład na 2 równe części: 50 % powyżej i 50 % poniżej tej wartości,
 - $d_{v,90}$ – 90 % rozkładu leży poniżej tej wartości,
- oraz średnie średnice:
- d_{43} – średnica de Brouckere'a: $d_{43} = \sum n_i d_i^4 / \sum n_i d_i^3$,
 - d_{32} – średnica Sautera: $d_{32} = \sum n_i d_i^3 / \sum n_i d_i^2$,

gdzie: n_i – liczba cząstek o średnicy d_i .

Pomiary barwy wykonywano metodą odbiciową z użyciem kolorymetru Chroma Meter CR-400 wraz z oprogramowaniem komputerowym Color Data Software CM-S100w SpectraMagic™ NX Professional, Ver. 2.0 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japonia). Kolorymetr wykalibrowano na wzorcu bieli (C: $L^* = 95,42$; $a^* = 4,89$; $b^* = -2,43$). Przyjęte warunki oznaczenia: oświetlenie rozproszone, 0° pomiar (z włączeniem składowej lustrzanej), obserwacja pod standardowym kątem 10° , iluminant C. Rejestrowano parametry wartości składowych w systemie CIE $L^*a^*b^*$. Parametr L^* opisuje jasność barwy i przyjmuje wartości od 0 (absolutna czerń) do 100 (absolutna biel). Parametry a^* i b^* wyrażają chromatyczność barwy. Zmiany udziału barw zielonej i czerwonej określa parametr a^* , w zakresie wartości od -60 (zielona) do 60 (czerwona), natomiast udział barw niebieskiej i żółtej opisuje parametr b^* , w zakresie wartości od -60 (niebieska) do 60 (żółta) [4, 8, 21]. Próbki mleka umieszczano w szklanej kuwecie pomiarowej o średnicy 40 mm.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiaru parametrów barwy wyznaczono [4, 8, 12]:

- nasycenie barwy: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$,

- kąt tonu (odcienia) barwy (od 0 do 360 °): $h^*_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$,
- indeks żółtości: $YI = 142,86b^*/L^*$,
- indeks oddalenia od bieli: $WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$.

Dodatkowo w próbkach mleka homogenizowanego (B - G) w stosunku do mleka niehomogenizowanego (A) obliczono:

- bezwzględną różnicę barwy: $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$,
- zmianę nasycenia barwy: $\Delta C^* = C^*_1 - C^*_0$,
- różnicę tonu: $\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$.

W instrumentalnych badaniach tekstury używano teksturometru Texture Analyser TA.XT.plus (Stable Micro Systems, Sussex, Wielka Brytania) z oprogramowaniem komputerowym Texture Exponent 32. Analizator był dodatkowo wyposażony w komorę termostatową typu Micro (Temperature Applied Sciences Ltd., West Sussex, Wielka Brytania). Stosowano głowicę pomiarową SMS P/25. Prędkość przesuwu głowicy przed pomiarem – 2,00 mm/s, prędkość głowicy w czasie kompresji – 1,00 mm/s, prędkość po zakończeniu pomiaru – 5,00 mm/s, głębokość penetracji głowicy – 20,00 mm, siła detekcji nacisku – 5,0 g. Analizę prowadzono w temp. 30 °C. W skrzepkach kwasowych analizowano następujące wyróżniki: twardość, konsystencję, spoistość i indeks lepkości. Twardość określano jako maksymalną siłę nacisku końcówki pomiarowej na badaną próbkę, zaś spoistość – jako wartość maksymalnej siły niezbędnej do pokonania oporu próbki w czasie powrotu końcówki pomiarowej do pozycji wyjściowej. Pole powierzchni pod krzywą zmian siły nacisku w czasie wyznaczało konsystencję, natomiast pole powierzchni ograniczonej krzywą zmian siły niezbędnej do pokonania oporu próbki w określonym czasie stanowiło indeks lepkości. Spoistość i indeks lepkości uzyskiwały wartości ujemne, co wynikało z kierunku działania trzpienia pomiarowego.

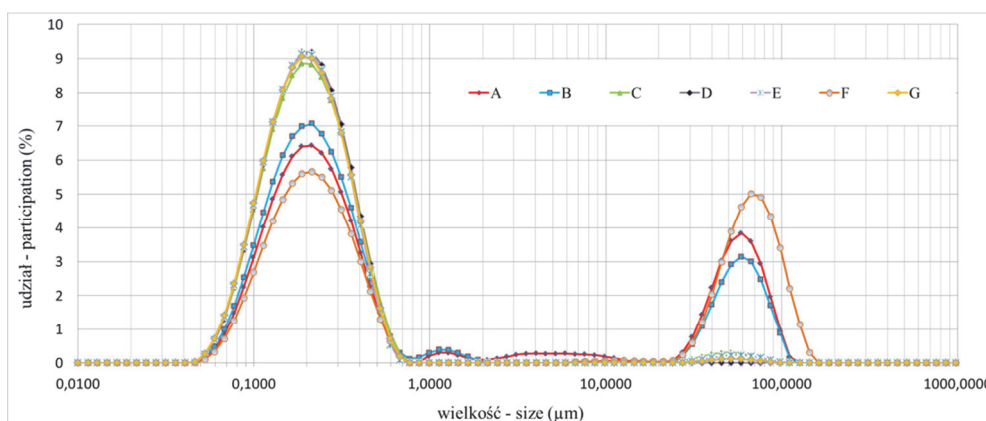
Wszystkie analizy wykonano w czterech powtórzeniach, dla każdej próbki dwukrotnie. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Obliczono wartości średnie, odchylenia standardowe oraz oszacowano statystycznie istotne różnice pomiędzy średnimi przy zastosowaniu jednoczynnikowej analizy wariancji oraz testu post-hoc Dun-cana ($p \leq 0,05$). Obliczenia wykonano za pomocą pakietu statystycznego StatSoft Inc. Statistica v. 13.1 software (Tulsa, Oklahoma, USA).

Wyniki i dyskusja

Mleko surowe zawierało $4,41 \pm 0,02$ % tłuszczu, $3,57 \pm 0,01$ % białka, w tym $2,79 \pm 0,03$ % kazeiny, $4,90 \pm 0,02$ % laktozy oraz $13,65 \pm 0,02$ % suchej masy. Mleko odtłuszczone, przeznaczone do homogenizacji, zawierało $0,02 \pm 0,01$ % tłuszczu, $3,84 \pm 0,02$ % białka, w tym $2,99 \pm 0,02$ % kazeiny, $5,36 \pm 0,01$ % laktozy i $9,67 \pm 0,02$ % suchej substancji. Podstawowy skład chemiczny mleka surowego i odtłuszczonego był

typowy i charakterystyczny dla mleka krowiego [2], przy czym zastosowana homogenizacja nie wpłynęła na zawartość podstawowych składników w mleku odtłuszczonym.

Wielkość kuleczek tłuszczowych w mleku zawiera się w zakresie $0,2 \div 15 \mu\text{m}$ i jest zależna od wielu czynników, w tym pory roku czy fazy laktacji [2, 9]. Rozmiar miceli kazeinowych jest natomiast zdecydowanie mniejszy od rozmiaru kuleczek tłuszczowych i wynosi średnio $154 \div 230 \text{ nm}$, przy czym ich średnica może dochodzić nawet do 487 nm [9]. Rozkład wielkości ogółu cząstek mleka odtłuszczonego niehomogenizowanego oraz poddanego homogenizacji jednostopniowej przy ciśnieniu 200 bar oraz dwustopniowej przy ciśnieniu 200/100 bar charakteryzował się głównie cząstkami wielkości $25 \div 150 \mu\text{m}$. W mleku poddanym homogenizacji z zastosowaniem pozostałych ciśnień nie stwierdzono wystąpienia cząstek o dużych rozmiarach w takim zakresie. Obecność dużych cząstek zdefiniowanych średnicą d_{v90} i d_{43} w mleku odtłuszczonym była spowodowana prawdopodobnie wpływem wstępnych procesów technologicznych (wirowaniem, pasteryzacją) na składniki mleka, a zastosowanie ciśnienia homogenizacji $> 200 \text{ bar}$ wpłynęło na ich eliminację. Interpretację graficzną ilustrującą rozkład wielkości cząstek (rys. 1) potwierdzono wartościami parametrów opisujących wielkość cząstek (tab. 2).



Rys. 1. Rozkład wielkości cząstek niehomogenizowanego mleka odtłuszczonego (A), mleka homogenizowanego jednostopniowo przy ciśnieniu: 200 bar (B), 500 bar (C), 1000 bar (D), 2000 bar (E) oraz homogenizowanego dwustopniowo przy ciśnieniu: 200/100 bar (F) i 500/250 bar (G)

Fig. 1. Size distribution of particles of skimmed milk that was: non-homogenised (A), single-stage homogenised at a pressure of: 200 bar (B), 500 bar (C), 1000 bar (D), 2000 bar (E) and double-stage homogenised at a pressure of: 200/100 bar (F) and 500/250 bar (G)

Homogenizacja jednostopniowa przy ciśnieniu 200 bar nie wpłynęła na zmianę wartości parametrów opisujących wielkość cząstek. W wyniku homogenizacji dwustopniowej przy ciśnieniu 200/100 bar wartości tych wskaźników wzrosły statystycznie

istotnie w stosunku do wartości mleka niehomogenizowanego. Zastosowanie ciśnienia powyżej 200 bar spowodowało statystycznie istotne obniżenie wartości wszystkich zmierzonych parametrów (tab. 2).

Tabela 2. Wielkość cząstek mleka odtłuszczonego
Table 2. Size of skimmed milk particles

Próba Sample	d_{32} [μm]	d_{43} [μm]	$d_{v,10}$ [μm]	$d_{v,50}$ [μm]	$d_{v,90}$ [μm]
A	$0,27^b \pm 0,03$	$16,14^b \pm 6,19$	$0,12^b \pm 0,01$	$0,30^b \pm 0,04$	$63,42^b \pm 14,56$
B	$0,24^b \pm 0,02$	$13,17^b \pm 5,12$	$0,12^b \pm 0,00$	$0,26^{bc} \pm 0,02$	$53,29^b \pm 29,43$
C	$0,19^c \pm 0,00$	$1,34^c \pm 1,68$	$0,1^c \pm 0,00$	$0,21^c \pm 0,00$	$0,44^c \pm 0,05$
D	$0,18^c \pm 0,00$	$0,24^c \pm 0,00$	$0,11^c \pm 0,00$	$0,21^c \pm 0,00$	$0,40^c \pm 0,00$
E	$0,18^c \pm 0,00$	$1,11^c \pm 1,36$	$0,11^c \pm 0,00$	$0,21^c \pm 0,00$	$0,41^c \pm 0,03$
F	$0,31^a \pm 0,05$	$28,14^a \pm 8,75$	$0,13^a \pm 0,01$	$0,38^a \pm 0,10$	$88,58^a \pm 14,46$
G	$0,18^c \pm 0,00$	$0,62^c \pm 0,86$	$0,10^c \pm 0,00$	$0,21^c \pm 0,00$	$0,41^c \pm 0,02$

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie \pm odchylenia standardowe / Table shows mean values \pm standard deviations; a, b, ... – wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi małymi literami w indeksie górnym różnią się między sobą statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) / mean values in columns denoted by different lowercase letters in the superscript differ significantly ($p \leq 0,05$); d_{32} – średnica Sautera / Sauter mean diameter, d_{43} – średnica de Brouckere'a / de Brouckere mean diameter, $d_{v,10}$, $d_{v,50}$, $d_{v,90}$ – średnica, przy której odpowiednio 10 %, 50 % i 90 % próbki składa się z cząstek o średnicy mniejszej niż ta wartość / diameter at which 10 %, 50 % and 90 % of sample, respectively, consists of particles with diameter lower than that value; A – mleko odtłuszczone niehomogenizowane / non-homogenised skimmed milk, B - E – mleko odtłuszczone homogenizowane jednostopniowo pod ciśnieniem: 200 bar (B), 500 bar (C), 1000 bar (D), 2000 bar (E) / single-stage homogenised skimmed milk at a pressure of: 200 bar (B), 500 bar (C), 1000 bar (D), 2000 bar (E); G - F – mleko odtłuszczone homogenizowane dwustopniowo pod ciśnieniem: 200/100 bar (F) i 500/250 bar (G) / double-stage homogenised skimmed milk at a pressure of: 200/100 bar (F) and 500/250 bar (G).

Homogenizacja mleka odtłuszczonego wpłynęła na zmianę parametrów i wskaźników barwy (tab. 3).

Jasność (L^*) próbek homogenizowanych jednostopniowo (B - E) w porównaniu z próbkami mleka odtłuszczonego niehomogenizowanego (A) uległa przesunięciu w kierunku czerni (obniżenie wartości L^*), natomiast jasność próbek homogenizowanych dwustopniowo (F - G) uległa przesunięciu w kierunku bieli (wzrost wartości L^*). Największą jasnością charakteryzowała się próbka F. Nie wykazano statystycznie istotnych różnic między wartością L^* homogenizowanego mleka (B - G) a mlekiem niehomogenizowanym (A). Jasność mleka homogenizowanego jednostopniowo (próbki B - E) oraz dwustopniowo (próbki F - G) różniła się statystycznie istotnie. Parametr a^* (pozycjonowanie pomiędzy barwą zieloną a czerwoną) barwy wszystkich próbek przyjmował ujemną wartość, co świadczy o pozycjonowaniu w kierunku barwy zielonej. W przypadku tego parametru odnotowano statystycznie istotne różnice pomiędzy

Tabela 3. Parametry barwy mleka odtłuszczonego
Table 3. Colour parameters of skimmed milk

Próba Sample	L* [-]	a* [-]	b* [-]	C* [-]	WI [-]	YI [-]	h° [°]	ΔE*	ΔC*	ΔH*
A	86,20 ^{ab} ± 0,62	-5,55 ^{cd} ± 0,20	-0,13 ^c ± 0,31	5,56 ^c ± 0,20	85,12 ^{ab} ± 0,65	-0,22 ^c ± 0,51	181,31 ^a ± 3,12	-	-	-
B	85,12 ^b ± 0,72	-5,63 ^d ± 0,16	-0,64 ^c ± 0,09	5,67 ^c ± 0,17	84,07 ^b ± 0,73	-1,07 ^c ± 0,15	186,47 ^a ± 0,73	1,56 ^c ± 0,65	0,11 ^c ± 0,34	0,89 ^c ± 0,32
C	85,15 ^b ± 0,82	-5,45 ^{bcd} ± 0,17	-0,35 ^c ± 0,12	5,46 ^{cd} ± 0,17	84,17 ^{ab} ± 0,81	-0,59 ^c ± 0,21	183,67 ^a ± 1,26	1,43 ^c ± 0,78	-0,10 ^c ± 0,21	0,70 ^c ± 0,40
D	85,98 ^{ab} ± 0,88	-5,07 ^a ± 0,11	-0,27 ^c ± 0,45	5,09 ^d ± 0,11	85,08 ^{ab} ± 0,84	-0,44 ^c ± 0,74	182,98 ^a ± 5,12	1,10 ^c ± 0,23	-0,47 ^c ± 0,31	0,44 ^c ± 0,30
E	85,09 ^b ± 0,75	-5,27 ^{ac} ± 0,13	-0,30 ^c ± 0,20	5,28 ^{cd} ± 0,13	84,18 ^{ab} ± 0,74	-0,51 ^c ± 0,33	183,26 ^a ± 2,06	1,48 ^c ± 0,73	-0,28 ^c ± 0,24	0,69 ^c ± 0,38
F	87,04 ^a ± 0,80	-5,24 ^{ab} ± 0,11	3,50 ^b ± 0,46	6,31 ^b ± 0,27	85,60 ^a ± 0,76	5,74 ^b ± 0,75	146,15 ^b ± 3,78	3,63 ^b ± 0,43	0,72 ^b ± 0,15	3,34 ^b ± 0,47
G	86,90 ^a ± 0,47	-5,06 ^a ± 0,16	6,43 ^a ± 0,59	8,18 ^a ± 0,47	84,55 ^{ab} ± 0,64	10,57 ^a ± 1,03	128,29 ^c ± 2,78	6,47 ^a ± 0,57	2,62 ^a ± 0,48	5,83 ^a ± 0,52

Objaśnienia / Explanatory notes:

L* – jasność / lightness, a* – pozycjonowanie pomiędzy barwą zieloną i czerwoną / position between green and red, b* – pozycjonowanie pomiędzy barwą niebieską i żółtą / position between blue and yellow, C* – nasycenie barwy / colour saturation, WI – indeks oddalenia od bieli / whiteness index, YI – indeks żółtości / yellowness index, h° – kąt tonu / hue angle, ΔE* – bezwzględna różnica barwy / absolute difference in colour, ΔC* – różnica nasycenia barwy / difference in colour saturation, ΔH* – różnica tonu / difference in hue. Pozostałe objaśnienia jak pod tab. 2. / Other explanatory notes as in Tab. 2.

dwiema grupami jednorodnymi statystycznie. Pierwszą grupę jednorodną statystycznie stanowiło mleko niehomogenizowane (A), homogenizowane jednostopniowo przy ciśnieniach 200 bar (B) i 500 bar (C), a drugą mleko homogenizowane jednostopniowo przy ciśnieniach 1000 bar (D) i 2000 bar (E) oraz homogenizowane dwustopniowo (F - G). Parametr b^* barwy mleka niehomogenizowanego oraz homogenizowanego jednostopniowo (A - E) charakteryzował się ujemnymi wartościami, a więc pozycjonowaniem w kierunku barwy niebieskiej, natomiast mleka poddanego homogenizacji dwustopniowej (F - G) osiągał wartości dodatnie, co świadczy o pozycjonowaniu w kierunku żółtym. Wartości parametru b^* jednorodnych statystycznie próbek A - E oraz jednorodnych statystycznie próbek F - G różniły się statystycznie istotnie między sobą, co przekładało się na zróżnicowanie pozostałych parametrów barwy mleka, takich jak indeks żółtości (YI), kąt tonu barwy (h°), bezwzględna różnica tonu (ΔH^*) oraz bezwzględna różnica barwy (ΔE^*). Nasylenie barwy (C^*) różniło się nieznacznie w próbkach homogenizowanych jednostopniowo (B - E), a także pomiędzy nimi a próbką kontrolną (A). Wartości parametrów ΔE^* , ΔC^* i ΔH^* mleka poddanego homogenizacji jednostopniowej stanowiły grupę jednorodną i różniły się statystycznie istotnie od wartości charakteryzujących mleko poddane homogenizacji dwustopniowej. Dodatkowo w przypadku parametru b^* , nasycenia barwy C^* , zmiany nasycenia barwy (ΔC^*), indeksu żółtości (YI), kąta tonu barwy (h°) i bezwzględnej różnicy tonu (ΔH^*) homogenizowane dwustopniowo próbki F i G różniły się od siebie statystycznie istotnie. W przypadku indeksu oddalenia od bieli (WI) nie zaobserwowano wpływu homogenizacji na zmianę tego wskaźnika. Podsumowując – na podstawie wyników pomiarów i obliczeń stwierdzono, że homogenizacja, w szczególności dwustopniowa, wpłynęła na parametry barwy, podczas gdy w przypadku homogenizacji jednostopniowej różnice w odniesieniu do mleka niehomogenizowanego wystąpiły w mniejszym zakresie. Na barwę mleka wpływa szereg czynników, do których należą m.in. rasa krów i ich zmienność genetyczna, okres laktacji, sposób żywienia, stan wymion, a nawet pora dojenia [19, 20]. Scarso i wsp. [19] odnotowali średnie wielkości składowych barwy mleka: $L^* = 81,60$, $a^* = -3,88$ i $b^* = 8,04$, przy średnim udziale: 3,71 % białka, w tym 2,81 % kazeiny, 4,61 % tłuszczu, 4,76 % laktozy.

Próbki mleka przed homogenizacją wykazywały zbliżone wartości pH ($6,74 \div 6,64$). Skrzep kwasowy bezpośrednio przed wykonaniem testu kompresji również wykazywał zbliżoną kwasowość czynną (w przedziale $4,61 \div 4,58$).

Wyniki analizy tekstury badanych skrzepów przedstawiono w tab. 4. Twardość, czyli siła jaką należy przyłożyć, aby uzyskać określoną deformację skrzepu, kształtowała się w zakresie średnich wartości $0,43 \div 0,49$ N. Wartości konsystencji, czyli stopnia twardości (zwartości) skrzepu, kształtowały się w badanych próbkach w zakresie $4,38 \div 4,76$ N·s. Te dwa wyróżniki są szczególnie ważne ze względu na zabiegi technologiczne w produkcji serów, np. krojenia skrzepu. Spoistość wyraża stopień, do ja-

kiego można odkształcić daną substancję, aby jej nie złamać (jest to cecha wyrażająca wielkość wiązań sił wewnętrznych utrzymujących daną substancję jako całość). Indeks lepkości charakteryzuje płynność produktu pod wpływem przyłożonej siły. Średnia wartość spoistości próbek wynosiła $-0,06$ N, natomiast indeksu lepkości $-0,04 \div -0,05$ N·s. Siemianowski i wsp. [18] badali te same parametry tekstury w skrzepie kwasowym, który został uzyskany z mleka pasteryzowanego oraz w skrzepie, który został uzyskany z mleka mikrofiltrowanego. Określili, że średnia twardość skrzepu z mleka pasteryzowanego wynosiła $0,95$ N, a skrzepu z mleka mikrofiltrowanego – $0,78$ N, konsystencja wynosiła odpowiednio: $13,46$ i $10,92$ N·s, spoistość – $0,23$ i $0,17$ N, natomiast indeks lepkości – $0,26$ i $0,16$ N·s. Mulawka i wsp. [11] oceniali teksturę twarogów bezpośrednio po produkcji i otrzymali średnie wyniki twardości w zakresie $0,30 \div 0,48$ N. Skrzepy kwasowe w badaniach własnych charakteryzowały się porównywalną twardością do skrzepów uzyskanych przez Mulawkę i wsp. [11], natomiast mniejszą twardością, konsystencją, spoistością i lepkością do skrzepów otrzymanych przez Siemianowskiego i wsp. [18]. W badaniach Siemianowskiego i wsp. [18] zwrócono uwagę na znaczenie zastosowania procesu pasteryzacji na zwiększenie wartości parametrów tekstury badanych skrzepów.

Tabela 4. Parametry tekstury skrzepu kwasowego

Table 4. Acid curd texture parameters

Próba Sample	Twardość Hardness [N]	Konsystencja Consistency [N·s]	Spoistość Cohesiveness [N]	Indeks lepkości Index of viscosity [N·s]
A	$0,43 \pm 0,04$	$4,38 \pm 0,37$	$-0,06 \pm 0,02$	$-0,04 \pm 0,02$
B	$0,49 \pm 0,05$	$4,76 \pm 0,26$	$-0,06 \pm 0,01$	$-0,04 \pm 0,01$
C	$0,48 \pm 0,08$	$4,73 \pm 0,37$	$-0,06 \pm 0,01$	$-0,05 \pm 0,01$
D	$0,46 \pm 0,05$	$4,47 \pm 0,28$	$-0,06 \pm 0,01$	$-0,04 \pm 0,01$
E	$0,49 \pm 0,05$	$4,56 \pm 0,35$	$-0,06 \pm 0,01$	$-0,04 \pm 0,01$
F	$0,48 \pm 0,06$	$4,49 \pm 0,43$	$-0,06 \pm 0,01$	$-0,04 \pm 0,01$
G	$0,48 \pm 0,03$	$4,57 \pm 0,19$	$-0,06 \pm 0,00$	$-0,04 \pm 0,01$

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie \pm odchylenia standardowe / Table shows mean values \pm standard deviations. Objasnienia symboli jak pod tab. 2. / Meanings of symbols as in Tab. 2.

Zastosowanie homogenizacji mleka odtłuszczonego wpłynęło w nieznacznym stopniu na zwiększenie zwięzłości skrzepu, jednak różnice te nie były statystycznie istotne. Nie odnotowano także statystycznie istotnych różnic między innymi parametrami tekstury uzyskanymi w wyniku koagulacji mleka niehomogenizowanego w stosunku do skrzepu z mleka homogenizowanego, co świadczy o braku istotnego statystycznie wpływu homogenizacji na wyniki tekstury badanych skrzepów kwasowych.

Niskie wartości twardości i konsystencji świadczą o otrzymaniu luźnego skrzepu w przypadku wszystkich badanych próbek.

Tabela 5. Podstawowy skład chemiczny mleka odtłuszczonego i serwatki
Table 5. Basic chemical composition of skimmed milk and whey

Próba / Sample		Tłuszcz Fat [%]	Białko Protein [%]	Laktoza Lactose [%]	Sucha masa Dry mass [%]
Mleko odtłuszczone Skimmed milk		0,02 ± 0,00	3,84 ± 0,02	5,36 ± 0,01	9,67 ± 0,02
Serwatka Whey	A	0,02 ± 0,00	1,01 ± 0,06	5,96 ± 0,00	7,47 ± 0,07
	B	0,02 ± 0,00	1,01 ± 0,03	5,95 ± 0,06	7,48 ± 0,06
	C	0,02 ± 0,00	0,99 ± 0,05	5,84 ± 0,08	7,31 ± 0,15
	D	0,02 ± 0,00	1,01 ± 0,01	5,86 ± 0,01	7,36 ± 0,04
	E	0,02 ± 0,00	1,05 ± 0,02	6,01 ± 0,08	7,56 ± 0,13
	F	0,02 ± 0,00	1,03 ± 0,04	5,96 ± 0,14	7,46 ± 0,17
	G	0,02 ± 0,00	1,01 ± 0,01	5,90 ± 0,01	7,39 ± 0,02

Objaśnienia jak pod tab. 2. / Explanatory notes as in Tab. 2.

Podczas oceny przejścia składników mleka odtłuszczonego do serwatki (tab. 5) nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między oznaczonymi wartościami charakteryzującymi analizowane próbki. Maksymalne średnie różnice zawartości białka, laktozy i suchej masy w próbkach serwatki wyniosły odpowiednio 0,06 %, 0,17 % i 0,25 %, natomiast w przypadku zawartości tłuszczu nie stwierdzono różnic.

Wnioski

1. Uzyskano istotne zmniejszenie rozmiaru cząstek homogenizowanego mleka odtłuszczonego przy zastosowaniu ciśnienia homogenizacji powyżej 200 bar, zarówno w przypadku homogenizacji jedno-, jak i dwustopniowej.
2. Nie stwierdzono wpływu homogenizacji jednostopniowej mleka odtłuszczonego na różnice barwy. Homogenizacja dwustopniowa miała istotny wpływ na wzrost wartości parametrów barwy mleka odtłuszczonego, takich jak: parametr b^* , wskaźnik żółtości, nasycenie oraz różnica tonu i barwy. Nie wykazano jednoznacznego wpływu ciśnienia homogenizacji na jasność i indeks oddalenia od bieli w badanym mleku.
3. Nie wykazano istotnego wpływu homogenizacji mleka odtłuszczonego na zawartość składników suchej substancji w serwatce kwasowej, który mógłby świadczyć o zatrzymaniu składników suchej substancji mleka w skrzepie kwasowym, a także na parametry tekstury skrzepu kwasowego. Wynika z tego, że wpływ homogenizacji na wielkość cząstek nie znajduje odzwierciedlenia w zróżnicowaniu tekstury skrzepu oraz w składzie serwatki.

4. Zastosowanie homogenizacji nie zakłóca przebiegu procesu produkcji serów twarogowych odtłuszczonych i pozwala w efekcie otrzymać produkt o teksturze skrzepu i retencji w nim składników nieróżniący się od wyrobu otrzymanego z mleka odtłuszczonego niehomogenizowanego.

Literatura

- [1] Abd El-Gawad M.A.M., Ahmed N.S.: Cheese yield as affected by some parameters. Review. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment., 2001, 10 (2), 131-153.
- [2] Barłowska J., Litwińczuk Z., Król J., Topyła B.: Technological usefulness of milk of cows of six breeds maintained in Poland relative to a lactation phase. Pol. J. Food Nutr. Sci., 2006, 15 (56), SI 1, 17-21.
- [3] Bylund G.: Cheese. In: Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund 1995, pp. 287-330.
- [4] CIE Technical report. Colorimetry. 3rd ed. Commission Internationale de L'Eclairage, Vienna 2004, pp. 16-20.
- [5] Dumay E., Chevalier-Lucia D., Picart-Palmade L., Benzaria A., Gracia-Julia A., Blayo C.: Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenization. Trends Food Sci. Technol., 2013, 31 (1), 13-26.
- [6] Ganju S., Gogate P.R.: A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. J. Food Eng., 2017, 215, 84-96.
- [7] ISO 13320:2020. Particle size analysis. Laser diffraction methods.
- [8] Konica Minolta: Precise color communication. Color control from perception to instrumentation. [on line]. Dostęp w Internecie [19.04.2021]: https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf
- [9] Logan A., Day L., Pin A., Auldist M., Leis A., Puvanenthiran A., Augustin M.A.: Interactive effects of milk fat globule and casein micelle size on the renneting properties of milk. Food Bioprocess Technol., 2014, 7, 3175-3185.
- [10] Malvern Instruments: Mastersizer 3000 User Manual. Malvern Instruments Ltd., Malvern, United Kingdom, 2013.
- [11] Muławka E., Dmytrów I., Mituniewicz-Małek A., Godula K.: Rodzaj kultury starterowej a wybrane cechy fizykochemiczne sera twarogowego w czasie przechowywania. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2019, 1 (118), 95-110.
- [12] Pathare P.B., Opara U.L., Al-Said F.A.: Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food Bioprocess Technol., 2013, 6 (1), 36-60.
- [13] Pereda J., Ferragut V., Quevedo J.M., Guamis B., Trujillo A.J.: Heat damage evaluation in ultra-high pressure homogenized milk. Food Hydrocoll., 2009, 23, 1974-1979.
- [14] Reps A., Wiśniewska K., Bohdziewicz K.: Sery podpuszczkowe, twarogowe i topione. W: Produkty mleczne. Technologia i rola w żywieniu człowieka. Red. J. Gawęcki, J. Pikul. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 2018, ss. 135-142.
- [15] Rozporządzenie (WE) nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. ustanawiające szczególne przepisy dotyczące higieny w odniesieniu do żywności pochodzenia zwierzęcego. Dz. U. L 139, ss. 55-205, z 30.04.2004.
- [16] Sandra S., Dalgleish D.G.: Effects of ultra-high-pressure homogenization and heating on structural properties of casein micelles in reconstituted skim milk powder. Int. Dairy J., 2005, 15, 1095-1104.

- [17] Serra M., Trujillo A.J., Jaramillo P.D., Guamis B., Ferragut V.: Ultra-High Pressure homogenization-induced changes in skim milk: Impact on acid coagulation properties. *J. Dairy Res.*, 2008, 75, 69-75.
- [18] Siemianowski K., Lis A., Bohdziewicz K., Szpendowski J.: Porównanie wybranych cech tekstury skrzepu kwasowego otrzymanego z mleka pasteryzowanego i mleka mikrofiltrowanego. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 2015, 3 (18), 56-63.
- [19] Scarso S., McParland S., Visentin G., Berry D.P., McDermott A., De Marchi M.: Genetic and nongenetic factors associated with milk color in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2017, 100, 7345-7361.
- [20] Walker G.P., Wijesundera C., Dunshea F.R., Doyle P.T.: Seasonal and stage of lactation effects on milk fat composition in northern Victoria. *Anim. Prod. Sci.*, 2013, 53, 560-572.
- [21] Wrolstad R.E., Smith D.E.: Color Analysis. In: *Food Analysis*. Ed. S.S. Nielsen. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2010, pp. 575-586.

EFFECT OF HOMOGENISATION ON SELECTED PARAMETERS OF SKIMMED MILK, ACID CURD AND ACID WHEY

S u m m a r y

Under the research study, there was determined the impact of single- (200, 500, 1000 and 2000 bar) and double-stage (200/100 and 500/250 bar) homogenisation on some selected properties of pasteurized skimmed milk, acid curd made from this milk with the use of milk fermentation bacteria and the effect of homogenisation on the transfer of components of milk dry matter to whey. No statistically significant changes ($p > 0.05$) were reported in the size of total particles of skimmed milk as a result of single-stage homogenisation at a pressure of 200 bar, while in the case of double-stage homogenisation at 200/100 bar there was found a significant increase in their size ($p \leq 0.05$). A significant reduction in the size of particles was the result of both the single- and the double-stage homogenisation at a pressure > 200 bar. The presence of large particles defined by d_{v90} and d_{43} diameters in skimmed milk was probably caused by the impact of preliminary technological processes on the milk components (centrifugation, pasteurization); the application of homogenisation pressure > 200 bar caused their elimination. It was reported that the double-stage homogenisation impacted changes in the following colour parameters of skimmed milk: parameter b^* , yellowness index, saturation and the difference in total colour and hue. In the milk tested, there was shown no clear-cut impact of homogenisation pressure on the brightness and the whiteness index. The homogenisation of skimmed milk (regardless of the homogenisation pressures applied) did not cause the components of milk dry matter to retain in the acid curd and did not impact its firmness. This is confirmed by the results of the compression test of the examined curd: hardness ($0,43 \div 0,49$ N) and consistency ($4,38 \div 4,76$ N·s), and the composition of whey (fat, protein, lactose, dry matter). The use of homogenisation does not interfere with the production process of skimmed curd cheeses and it makes it possible to get a product with a curd texture and ingredients retained therein that do not differ from those contained in the curd produced from a non-homogenised skimmed milk.

Key words: skimmed milk, homogenisation, particle size, colour, acid curd, texture ☒