

KAROLINA KRAMEK, PAWEŁ GLIBOWSKI

WŁAŚCIWOŚCI TEKSTURALNE I REOLOGICZNE MIESZANINY INULINY I TŁUSZCZU MLECZNEGO STABILIZOWANEJ LECYTYNĄ

Streszczenie

Celem pracy było porównanie właściwości teksturalnych i reologicznych mieszanin otrzymanych na bazie tłuszczu mlecznego (15,20 %), inuliny (15, 18, 21, 24 %) oraz lecytyny sojowej (2 %). Emulsje otrzymano sporządzając wodne zawiesiny inuliny, po czym ogrzewano je do temp. 65 °C lub 100 °C, łączono z bezwodnym tłuszczem mlecznym o temp. 70 °C oraz lecytyną, a następnie homogenizowano. Sporządzone emulsje przechowywano przez 24 h w temp. 5 °C, a następnie oznaczano cechy reologiczne oraz teksturalne.

Zarówno właściwości teksturalne (twardość, adhezyjność, kohezyjność, smarowność), jak i reologiczne (lepkość pozorna, moduł G' i G'') powstałych emulsji w znacznym stopniu zależały od temperatury ogrzewania roztworu inuliny. Badane cechy mieszanin przygotowanych z zastosowaniem zawiesin inuliny ogrzewanej do temp. 65 °C charakteryzowały się znacznie mniejszym odchyleniem standardowym w stosunku do ogrzewanych do 100 °C. Prawdopodobną tego przyczyną była utrata zdolności do krystalizacji inuliny przez jej całkowite rozpuszczenie w 100 °C. Obecność tłuszczu mlecznego nie wpłynęła katalizująco na krystalizację inuliny. Niższa temperatura umożliwiła tworzenie jednorodnej emulsji. Stwierdzono, że wzrost stężenia inuliny oraz tłuszczu mlecznego spowodował wzrost twardości i zmniejszenie smarowności emulsji oraz że do wytworzenia emulsji o przewidywanych właściwościach teksturalnych i reologicznych konieczne jest stosowanie temperatur umożliwiających krystalizację inuliny.

Słowa kluczowe: inulina, tłuszcz mleczny, emulsje, smarowność, właściwości teksturalne, właściwości reologiczne

Wprowadzenie

Inulina jest węglowodanem zapasowym wielu roślin. Zbudowana jest z cząstek fruktozy połączonych wiązaniami $\beta(1-2)$ oraz jednej reszty glukozowej połączo-

Mgr inż. K. Kramek, dr hab. inż. P. Glibowski, Katedra Biotechnologii, Żywnienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności, Wydz. Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704 Lublin. Kontakt: karolina_kramek@wp.pl

nej z ostatnią fruktozą za pomocą wiązania $\alpha(1-2)$ [20]. Obecność tych wiązań powoduje, że inulina ma niską wartość kaloryczną, gdyż nie jest trawiona przez enzymy jelitowe człowieka, a tym samym pełni funkcję błonnika pokarmowego [23]. Z tego powodu może być spożywana przez diabetyków, ponieważ nie wpływa na podniesienie poziomu glukozy we krwi [20]. Niestrawiona inulina stymuluje w jelicie grubym wzrost i/lub aktywność wielu bakterii probiotycznych, korzystnie oddziałujących na zdrowie człowieka [21].

Na skalę przemysłową inulina otrzymywana jest przede wszystkim z korzeni cykorii. Inulina natywna zawiera cząsteczki o stopniu polimeryzacji (DP) od 3 do ponad 60, przy czym średni stopień polimeryzacji wynosi 10 - 13. Taka inulina zawiera dużą ilość cukrów prostych i charakteryzuje się słodkim smakiem [20]. Na rynku dostępne są również inuliny o wysokim DP (≥ 23), o bardzo dobrych właściwościach zagęszczająco-żelujących oraz niewykazujące słodkiego smaku [8, 12]. Dzięki tym właściwościom oraz wodochłonności i zdolności nadawania produktom kremowej konsystencji, inulina jest szeroko stosowana w przemyśle spożywczym, m.in. mleczarskim, wędliniarskim, piekarskim i ciastkarskim. Produkty spożywcze wzbogacone w inulinę uznawane są za żywność funkcjonalną [5].

W odpowiednich warunkach możliwe jest tworzenie przez inulinę stabilnych żeli podobnych do tłuszczu [18]. Cecha ta jest wyjątkowo cenna, gdyż pozwala na tworzenie funkcjonalnych alternatyw dla masła i margaryny. Wysoki stopień polimeryzacji inuliny (DP ≥ 23) pozwala na otrzymanie żeli przy stężeniu 15 ÷ 20 % [4], uzależnione jest to jednak od temperatury ogrzewania roztworu inuliny [16]. Żele inulinowe powstają łatwo w stosunkowo niskich temperaturach (20 ÷ 40 °C), natomiast wzrost temperatury roztworu inuliny powyżej 70 °C powoduje stopniową utratę zdolności żelowania w wyniku zupełnego rozpuszczenia w roztworze ziaren krystalizacyjnych [15, 16]. Ponowny dodatek ziaren krystalizacyjnych pozwala na wytworzenie struktury żelowej [13]. Nie jest jednak wiadome, czy inne substancje, np. tłuszcz mleczny, nie mogą działać katalizująco na powstawanie struktury krystalicznej inuliny. Florowska i wsp. [7] dowiedli np. że dodatek soli kuchennej w ilości 1 ÷ 3 % znacznie poprawia właściwości żelujące inuliny.

Pod względem reologicznym żele inulinowe są to substancje rozrzedzane ścinaniem o właściwościach tiksotropowych [12, 14, 15]. W modelowych badaniach dotyczących zastosowania inuliny do otrzymywania emulsji z udziałem olejów roślinnych dowiedziono, że układy zawierające 20 % inuliny, 20 % oleju rzepakowego oraz 3 % lecytyny wykazują podobieństwo do dostępnych na rynku produktów do smarowania pieczywa [11]. Do tej pory nie publikowano badań związanych z tworzeniem emulsji na bazie inuliny oraz tłuszczu mlecznego, o charakterystyce fizykochemicznej odmiennej od ciekłych olejów.

Celem pracy było określenie właściwości teksturalnych i reologicznych mieszanin sporządzanych z tłuszczu mlecznego, inuliny oraz lecytyny, a także ocena wpływu temperatury ogrzewania roztworu inuliny na te właściwości.

Material i metody badań

Do badań zastosowano inulinę otrzymaną z korzeni cykorii, Frutafit TEX! o stopniu polimeryzacji ≥ 23 (Sensus, Holandia), bezwodny tłuszcz mleczny (BTM) (SM Mlekwita, Wysokie Mazowieckie, Polska) oraz lecytynę sojową (ICHEM, Łódź, Polska).

Próbki otrzymywano poprzez zmieszanie roztopionego bezwodnego tłuszczu mlecznego z lecytyną oraz roztworem inuliny. Skład otrzymanych emulsji przedstawiono w tab. 1. Roztwór inuliny otrzymywano poprzez mieszanie inuliny z wodą destylowaną o temp. 20 °C za pomocą mieszadła magnetycznego MS 11HS (Wigo, Piastów, Polska), a następnie ogrzewanie do 65 lub 100 °C. Mieszaninę fazy tłuszczowej i wodnej umieszczano w pojemniku homogenizatora H 500 (Pol-Eko Aparatura, Polska), a następnie homogenizowano przez 3 min z prędkością 12 tys. obr./min. Otrzymane emulsje rozlewano do pojemników o objętości 50 cm³ i średnicy 35 mm, które zamykano wieczkami oraz do pojemników do pomiaru smarowności o kształcie odwróconego stożka. Próbki przetrzymywano w temperaturze 20 ÷ 22 °C przez 1 h, a następnie umieszczano w szafie termostatycznej i przechowywano w temp. 5 °C przez 24 h.

Badania tekstury prowadzono za pomocą TA-XT2i Texture Analyser (Stable Microsystems, Goaldming, Wielka Brytania). Wykonywano profilową analizę tekstury (TPA) w modyfikacji Bonczar i wsp. [2], w wyniku której uzyskano wartości twardości, adhezyjności oraz kohezyjności. Wykonywano dwa sekwencyjne zanurzenia w próbkę walca o średnicy 1 cm na głębokość 15 mm z prędkością 1 mm/s, przedzielone fazą relaksacyjną trwającą 30 s.

Twardość zdefiniowano jako siłę (N) niezbędną do pierwszego zanurzenia walca w emulsję. Adhezyjność wyrażano jako iloczyn siły niezbędnej do wyciągnięcia walca z emulsji i czasu tego wyciągnięcia (N·s). Kohezyjność wyznaczano jako stosunek pracy podczas kompresji próbki w cyklu drugim do pierwszego. Wartości kohezyjności zawierają się w przedziale 0 ÷ 1. We wglębnej analizie TPA „1” oznacza, że następuje całkowita odbudowa struktury badanej próbki (model – ciecz), „0” natomiast oznacza, że próbka nie powraca do kształtu wyjściowego [9]. Smarowność analizowano poprzez zanurzenie stożkowej końcówki analizatora tekstury, poruszającej się z prędkością 3 mm/s, w pojemniku o kształcie odwróconego stożka zawierającego emulsję. Siłę (N) mierzono przez cały czas trwania analizy, a smarowność wyznaczano jako powierzchnię powstałą pod krzywą i wyrażano w N·s. Łatwiej rozsmarowujące

się próbki wymagały mniejszej siły potrzebnej do wciśnięcia stożkowej końcówki w próbkę. Mniejsze wartości smarowności oznaczają lepszą smarowność [25].

Tabela 1. Skład otrzymanych emulsji [%] oraz temperatura ogrzania roztworu inuliny przed sporządzeniem emulsji.

Table 1. Composition of produced emulsions [%] and temperature of heating inulin solution prior to making emulsion.

Próbka Sample	Inulina Inulin	Bezwodny tłuszcz mleczny Anhydrous milk fat	Lecytyna Lecithin	Temperatura Temperature
IN15F15T65	15	15	2	65
IN15F15T100	15	15	2	100
IN18F15T65	18	15	2	65
IN18F15T100	18	15	2	100
IN21F15T65	21	15	2	65
IN21F15T100	21	15	2	100
IN24F15T65	24	15	2	65
IN24F15T100	24	15	2	100
IN18F20T65	18	20	2	65
IN18F20T100	18	20	2	100
IN21F20T65	21	20	2	65
IN21F20T100	21	20	2	100
IN24F20T65	24	20	2	65
IN24F20T100	24	20	2	100

Objaśnienie: / Explanatory note:

Woda do przygotowania roztworu inuliny stanowi uzupełnienie do 100 % / Percent of water added while preparing inulin solution had to make 100 %.

Badania reologiczne prowadzono po 24-godzinnym przechowywaniu próbek, w układzie współosiowym płytka-płytką za pomocą reometru RS 300 (Haake, Karlsruhe, Niemcy). Szerokość szczeliny pomiędzy ząbkowanymi płytkami o średnicy 35 mm wynosiła 1 mm. Wszystkie pomiary wykonywano w temp. 20 °C, utrzymywanej dzięki cyrkulacyjnej łaźni wodnej Haake DC30 (Haake Karlsruhe, Niemcy). Wyniki rejestrowano komputerowo w programie Rheo-Win Pro 2.91 (Haake, Karlsruhe, Niemcy). Lepkość pozorną oznaczano stosując szybkość ścinania 10 s^{-1} w ciągu 120 s. Do celów analitycznych wyliczano średnią wartość lepkości w 90., 105. i 120. s pomiaru, co odpowiada parametrom stosowanym w analizie produktów przeznaczonych do smarowania pieczywa [17]. W badaniach oscylacyjnych określano wartości modułu zachowawczego (G') i modułu stratności (G'') w funkcji częstotliwości drgań, w zakresie od 0,1 do 100 Hz, przy odkształceniu 0,001 (0,1 %), po wcześniejszej analizie krzywych

odkształcenia. Do celów analitycznych użyto wartości modułów uzyskane w warunkach częstotliwości 1 Hz [12].

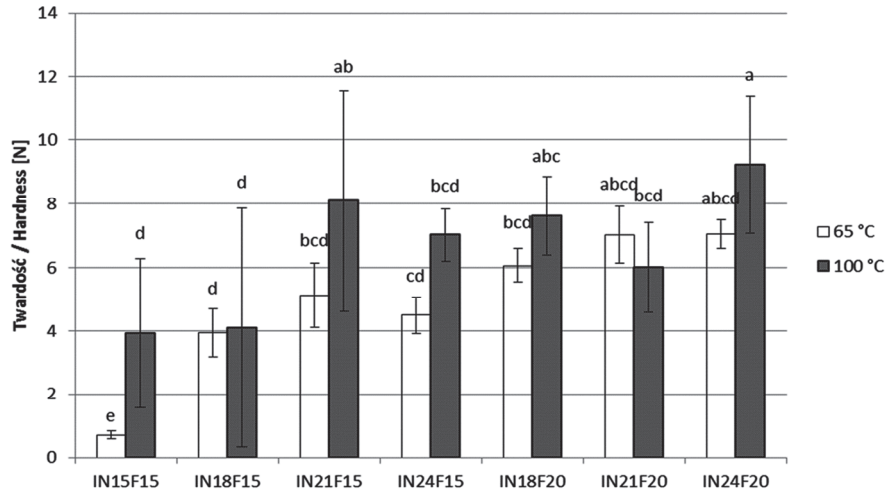
Badania przeprowadzono w trzech seriach, po dwa powtórzenia każdej badanej mieszanki. Obliczenia wartości średnich, odchyłeń standardowych oraz istotności różnic między średnimi dokonano stosując procedurę ANOVA, z wykorzystaniem testu rozstępu Studenta-Newmana-Keulsa ($p \leq 0,05$). Obliczenia wykonano w programie SAS Enterprise Guide 3.0.3.414.

Wyniki i dyskusja

Twardość otrzymanych emulsji (rys. 1) mierzono w temp. 5 °C, tj. zbliżonej do temperatury tłuszczów do smarowania bezpośrednio po wyjęciu ich z chłodziarki. Emulsje sporządzone z tłuszczu mlecznego i roztworu inuliny ogrzewanego do temp. 65 °C cechowały się mniej zróżnicowaną twardością w porównaniu z ich odpowiednikiem ogrzewanym do 100 °C, co prawdopodobnie było spowodowane zniszczeniem struktury krystalicznej inuliny na skutek jej ogrzania do 100 °C. Twardość większości emulsji wzrastała wraz ze wzrostem zawartości inuliny i tłuszczu mlecznego, co upodobniło je do tłuszczów handlowych. Glibowski i wsp. [9] wykazali, że twardość tłuszczów stołowych wzrasta wraz ze zwiększaniem zawartości tłuszczu w badanym produkcie. Twardość otrzymanych emulsji była bardziej zbliżona do twardości tłuszczów stołowych zawierających 60 % tłuszczu ($2 \div 3$ N) oraz margaryn o 20-procentowej zawartości tłuszczu niż do twardości masła (64 N) [17].

Analogiczne zależności wystąpiły również w przypadku smarowności (rys. 2). Zaobserwowano związek pomiędzy zawartością tłuszczu i inuliny w danej mieszance a smarownością emulsji. Najlepszą smarownością cechowały się emulsje o najmniejszej zawartości BTM i inuliny. Uzyskane smarowności zbliżone były do smarowności produktów handlowych o zawartości tłuszczów roślinnych wynoszącej 20 % ($26 \div 43$ N·s) i 60 % ($55 \div 210$ N·s) [17]. Ponadto stwierdzono, że tak jak w przypadku twardości, smarowność mieszanin sporządzonych przez ogrzewanie roztworu inuliny do 100 °C była obciążona znaczną niepewnością ze względu na duże wartości odchylenia standardowego.

Zależności zbliżone do zaobserwowanych przy ocenie twardości i smarowności występują również w przypadku adhezyjności (tab. 2). Wzrost temperatury ogrzewania roztworów inuliny spowodował wzrost adhezyjności badanych mieszanin. Najmniejszą, choć nieróżniącą się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$), adhezyjnością charakteryzowały się emulsje zawierające 15 % tłuszczu mlecznego oraz 15 i 18 % inuliny, czyli te, które cechowały się najmniejszą twardością. Dowodzi to, że im struktura badanej próbki była bardziej zwięzła, tym większe siły adhezyjne przeciwdziałały wysuwaniu trzpienia z próbki. Wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu mlecznego oraz inuliny adhezyjność wzrastała ($p \leq 0,05$).

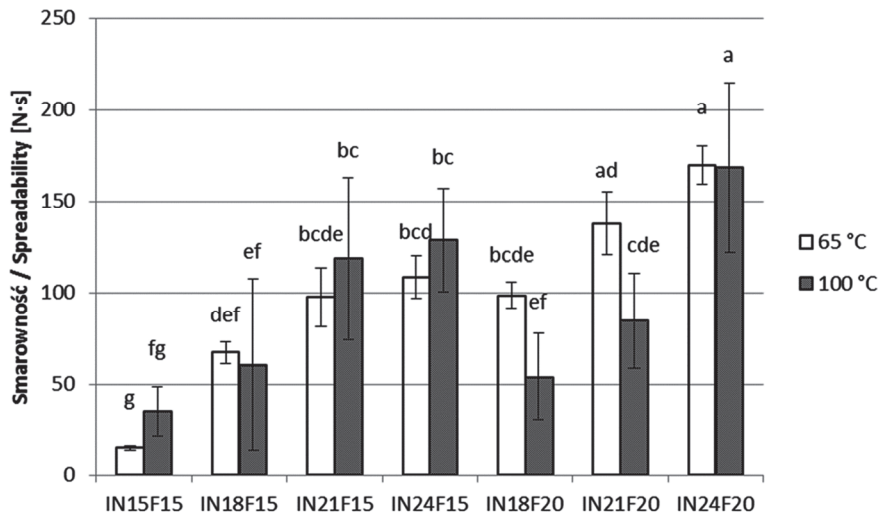


Objaśnienia: / Explanatory notes:

a - d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$ / mean values denoted by different letters differ statistically significantly at $p \leq 0.05$; 65 °C i 100 °C oznaczają temperatury ogrzewania roztworu inuliny / 65 °C and 100 °C refer to temperatures of heating inulin solution.

Rys. 1. Twardość emulsji składających się z tłuszczu mlecznego i inuliny.

Fig. 1. Hardness of emulsions consisting of anhydrous milk fat and inulin.



Objaśnienia: / Explanatory notes:

a - g – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$ / mean values denoted by different letters differ statistically significantly at $p \leq 0.05$; 65 °C i 100 °C oznaczają temperatury ogrzewania roztworu inuliny / 65 °C and 100 °C refer to temperatures of heating inulin solution.

Rys. 2. Smarowność emulsji składających się z tłuszczu mlecznego i inuliny.

Fig. 2. Spreadability of emulsions consisting of anhydrous milk fat and inulin.

Wartości kohezyności badanych mieszanin zawierały się w przedziale 0,16 (IN18F20T100) ÷ 0,31 (IN15F15T65), wykazując spoistość zbliżoną do miksu tłuszczowego o całkowitej zawartości tłuszczu wynoszącej 55 %, z czego 37 % stanowił tłuszcz mleczny [17]. W badanych próbkach różnice kohezyności w większości przypadków były nieistotne ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Adhezyjność, kohezynność i lepkość pozorna emulsji BTM, inuliny i lecytyny.

Table 2. Adhesiveness, cohesiveness, and apparent viscosity of AMF, inulin, and lecithin emulsions.

Temperatura przygotowania roztworu inuliny Temperature of preparing inulin solution [°C]	Zawartość inuliny Inulin content [%]	Zawartość BTM [%] / Anhydrous milk fat content [%]					
		15			20		
		Adhezyjność Adhesiveness [N·s]	Kohezynność Cohesiveness [-]	Lepkość pozorna Apparent viscosity [Pa·s]	Adhezyjność Adhesiveness [N·s]	Kohezynność Cohesiveness [-]	Lepkość pozorna Apparent viscosity [Pa·s]
65	15	-305 ^a ± 70	0,31 ^a ± 0,04	44 ^f ± 18	n.o	n.o	n.o
	18	-901 ^{ab} ± 232	0,23 ^{ab} ± 0,04	234 ^d ± 58	-1426 ^b ± 362	0,26 ^{ab} ± 0,03	341 ^d ± 51
	21	-1313 ^b ± 534	0,26 ^{ab} ± 0,03	355 ^e ± 56	-1398 ^b ± 455	0,25 ^{ab} ± 0,06	455 ^b ± 91
	24	-1108 ^{ab} ± 326	0,25 ^{ab} ± 0,06	560 ^a ± 96	-1834 ^b ± 754	0,28 ^a ± 0,07	538 ^a ± 60
100	15	-1038 ^{ab} ± 702	0,27 ^a ± 0,10	142 ^e ± 143	n.o	n.o	n.o
	18	-896 ^{ab} ± 858	0,25 ^{ab} ± 0,05	114 ^e ± 99	-1092 ^{ab} ± 781	0,16 ^b ± 0,08	428 ^b ± 48
	21	-1742 ^b ± 308	0,24 ^{ab} ± 0,07	308 ^e ± 129	-1924 ^b ± 537	0,27 ^a ± 0,04	244 ^d ± 51
	24	-1743 ^b ± 250	0,24 ^{ab} ± 0,04	220 ^d ± 41	-3096 ^c ± 468	0,27 ^a ± 0,05	213 ^d ± 60

Objaśnienia: / Explanatory notes:

w tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / table shows mean values and standard deviations, n=6; a - e – wartości średnie oznaczone różnymi literami dla tej samej cechy różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$ / mean values denoted by different letters as regards the same characteristic differ statistically significantly at $p \leq 0,05$; n.o. – oznacza, że dla takich stężeń nie otrzymano jednorodnych mieszanin / n.o. means that at those concentration values, no homogenous solutions were produced.

Badane emulsje charakteryzowały się właściwościami tiksotropowymi (dane niezamieszczone), co jest typowe dla substancji lepkosprężystych zawierających inulinę [12, 14]. Lepkość pozorna większości badanych emulsji była mniejsza w przypadku próbek sporządzonych z użyciem roztworów inuliny ogrzewanych do 100 °C (tab. 2).

Mogło to wynikać z bardziej jednorodnej struktury frakcji inulinowej. Lepkość pozorna na wszystkich badanych emulsji miała wartości zbliżone do występujących na rynku tłuszczów do smarowania [17].

W tab. 3. przedstawiono cechy lepkoelastyczne badanych emulsji. Dominującą ich cechą (bez względu na skład próbek oraz temperaturę ogrzewania roztworu inuliny) była elastyczność ($G' \geq G''$). Największe wartości modułu zachowawczego (G') stwierdzono w przypadku emulsji o 20-procentowej zawartości tłuszczu, przygotowanej z użyciem roztworu inuliny ogrzewanego do 65 °C. Znaczne różnice pomiędzy modułem zachowawczym i stratności są typowe dla żeli [24, 26]. Bot i wsp. [3] zwrócili uwagę na podobieństwo pomiędzy tłuszczem a żelem inulinowym. Jednak w tłuszczach, takich jak masło struktura jest utrzymywana dzięki oddziaływaniu sił van der Waalsa [27], natomiast cząsteczki inuliny powiązane są ze sobą za pomocą wiązań wodorowych [1].

Tabela 3. Właściwości lepkoelastyczne emulsji złożonych z bezwodnego tłuszczu mlecznego (BTM), inuliny i lecytyny.

Table 3. Visco-elastic properties of emulsions composed of anhydrous milk fat (AMF), inulin, and lecithin.

Temperatura przygotowania roztworu inuliny Temperature of preparing inulin solution [°C]	Zawartość inuliny Inulin content [%]	Zawartość BTM AMF content [%]			
		15		20	
		G' [Pa]	G'' [Pa]	G' [Pa]	G'' [Pa]
65	15	1318 ^e ± 1447	300 ^e ± 315	n.o.	n.o.
	18	12506 ^{cde} ± 2805	2851 ^{cde} ± 527	22365 ^{bc} ± 1956	4837 ^{bc} ± 670
	21	23052 ^{bc} ± 2558	5182 ^{abc} ± 473	31236 ^{ab} ± 5767	7442 ^{ab} ± 1425
	24	19961 ^{bcd} ± 15788	4243 ^{cd} ± 3263	37718 ^a ± 9145	8151 ^a ± 1651
100	15	5351 ^{de} ± 7103	1121 ^{de} ± 1480	n.o.	n.o.
	18	6348 ^{de} ± 8793	1322 ^{de} ± 1791	25228 ^{bc} ± 2147	5572 ^{abc} ± 510
	21	24088 ^{bc} ± 15811	5581 ^{abc} ± 4004	12940 ^{cde} ± 5992	2402 ^{cde} ± 741
	24	18890 ^{bcd} ± 9474	3651 ^{cd} ± 1801	18183 ^{bcd} ± 4308	3039 ^{cde} ± 719

Objaśnienia: / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations, n = 6; a - e – wartości średnie oznaczone różnymi literami dla tego samego modułu różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$ mean values denoted by different letters for the same modulus differ statistically significantly at $p \leq 0.05$; n.o. – oznacza, że dla takich stężeń nie otrzymano jednorodnych mieszanin / n.o. means that at those concentration values, no homogenous solutions were produced.

Analiza wartości modułów pozwala na dostrzeżenie pewnych tendencji. W próbkach zawierających 20 % BTM oraz inulinę ogrzewaną do 65 °C nastąpił istotny ($p \leq 0,05$) przyrost wartości modułów wraz ze wzrostem stężenia inuliny. Takich statystycznych zależności nie stwierdzono w przypadku mniejszej zawartości tłuszczu (15 %). W przypadku emulsji zawierającej inulinę ogrzewaną do 100 °C rozrzut wyników świadczy o dużej przypadkowości w tworzeniu struktury. Ogrzewanie do 100 °C spowodowało całkowite rozpuszczenie inuliny [13], jednak obecność tłuszczu nie pozwoliła na wytworzenie jednorodnej struktury. Wyraźne tendencje tworzone przez próbki o zwiększonej zawartości tłuszczu z inuliną ogrzewaną do 65 °C, to prawdopodobnie efekt współtworzenia struktury przez fazę tłuszczową i kryształy inuliny. Otrzymane wyniki wskazują, że w przypadku całkowitego rozpuszczenia inuliny struktura emulsji bazowała głównie na tłuszczu.

Zastanawiające są bardzo duże odchylenia standardowe w analizowanym materiale. Dotychczasowe badania wskazują, że jest to typowe dla żeli inulinowych [4, 16] i wynika prawdopodobnie z charakteru połączeń pomiędzy poszczególnymi składnikami emulsji. W badanych emulsjach obecna jest zarówno inulina, jak i tłuszcz mleczny, czyli substancje zdolne do tworzenia kryształów [13]. Ułożenie kryształów w strukturze badanego materiału decyduje o jego właściwościach reologicznych i teksturalnych i może wpływać na ich duże zróżnicowanie [10, 12, 22]. Tak jest w przypadku właściwości teksturalnych masła oraz tłuszczu mlecznego, które są wynikiem istnienia trójwymiarowej sieci kryształów tłuszczu powiązanych z fazą ciągłą oleju [6]. Stosunek tłuszczu stałego do płynnego jest głównym czynnikiem determinującym konsystencję masła [22]. Warto jednocześnie podkreślić, że nawet próbki o podobnej zawartości tłuszczów stałych mogą charakteryzować się różną twardością [19]. Dzieje się tak dlatego, że siła z jaką połączone są w sieci kryształy tłuszczu uzależniona jest nie tylko od procentowej zawartości tłuszczów stałych, ale również od ich struktury polimorficznej oraz wielkości samych kryształów [6]. Wyraźnie większe odchylenia w przypadku emulsji otrzymanych z dodatkiem inuliny ogrzewanej w 100 °C wynikały prawdopodobnie z jej utrudnionego żelowania. Rozpuszczalność inuliny w temperaturze wrzenia sięga 35 g/100 g wody [18]. Po całkowitym rozpuszczeniu inulina nie jest w stanie wytworzyć struktury żelowej [13]. Ogrzewanie roztworu inuliny do 65 °C pozwala na jej niemal całkowite rozpuszczenie, jednak w takim roztworze pozostają mikroskopowych rozmiarów cząstki pełniące funkcję ziaren krystalizacyjnych [3, 16]. Dlatego po ostudzeniu tak sporządzony roztwór jest w stanie ulec przekształceniu w żel o smarowej konsystencji [10].

Wnioski

1. Cechy reologiczne i teksturalne badanych dyspersji wykazywały podobieństwo do komercyjnych tłuszczów do smarowania.

2. Właściwości teksturalne i reologiczne emulsji składających się z inuliny, bezwodnego tłuszczu mlecznego i lecytyny, zależały od temperatury ogrzewania roztworów inuliny.
3. Duży rozrzut wartości badanych cech w przypadku emulsji otrzymanych z udziałem roztworu inuliny ogrzewanego do 100 °C dowodzi, że nie należy jej zalecać przy otrzymywaniu tego typu emulsji.
4. Emulsje wytworzone z udziałem roztworów ogrzewanych do temperatury 65 °C charakteryzowały się mniej zróżnicowanymi właściwościami, zarówno teksturalnymi, jak i reologicznymi.
5. Wzrost zawartości inuliny oraz tłuszczu mlecznego w układzie powodował wzrost twardości i zmniejszenie smarowności emulsji.

Literatura

- [1] Andre I., Mazeau K., Tvaroska I., Putaux J.L., Winter W.T., Taravel F.R., Chanzy H.: Molecular and crystal structures of inulin from electron diffraction data. *Macromolecules*, 1996, **29**, 4626-4635.
- [2] Bonczar G., Wszolek M., Siuta A.: The effects of certain factors on the properties of yoghurt made from ewe's milk. *Food Chem.*, 2002, **79**, 85-91.
- [3] Bot A., Erle U., Vreeker R., Agterof W.: Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. *Food Hydrocoll.*, 2004, **18**, 547-556.
- [4] Chiavaro E., Vittadini E., Corradini C.: Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *Eur. Food Res. Technol.*, 2007, **225**, 85-94.
- [5] Cieślak E., Gębusia A.: Żywność funkcjonalna z dodatkiem fruktanów. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, **2 (75)**, 27-37.
- [6] de Man J.M., Beers A.M.: Review: Fat crystal networks: Structure and rheological properties. *J. Texture Studies*, 1987, **18**, 303-318.
- [7] Florowska A., Budyta A., Krygier K.: Powstawanie i właściwości żeli inulinowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **3 (40)** Supl., 56-67.
- [8] Frank A.: Technological functionality of inulin and oligofructose. *Br. J. Nutr.*, 2002, **87**, Suppl. 2, S287-S291.
- [9] Glibowski P.: Wpływ olejów roślinnych na teksturę bezwodnego tłuszczu mlecznego, *Acta Agrophysica*, 2007, **9 (3)**, 603-612.
- [10] Glibowski P.: Effect of thermal and mechanical factors on rheological properties of high performance inulin gels and spreads. *J. Food Eng.*, 2010, 106-113.
- [11] Glibowski P., Kordowska-Wiater M., Glibowska A.: Effect of storage on texture and microbiological stability of oil-in-water emulsions with inulin. *Czech J. Food Sci.*, 2011, **29**, 2, 137-144.
- [12] Glibowski P., Kulik A., Masternak A.: Wpływ temperatury ogrzewania na właściwości reologiczne żeli inulinowych. *Polimery*, 2012, **57**, 2, 111-116.
- [13] Glibowski P., Pikus S.: Amorphous and crystal inulin behavior in a water environment. *Carbohydrate Polymers*, 2011, **83**, 635-639.
- [14] Glibowski P.: Rheological properties and structure of inulin – whey protein gels. *Int. Dairy J.*, 2009, **19**, 443-449.
- [15] Glibowski P., Gałązka A.: Effect of shear forces on textural properties of inulin gels. *Acta Agrophysica*, 2009, **13 (1)**, 67-76.
- [16] Glibowski P., Wasko A.: Effect of thermochemical treatment on the structure of inulin and its gelling properties. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, **43**, 2075-2082.

- [17] Glibowski P., Zarzycki P., Krzepakowska M.: The rheological and instrumental textural properties of selected table fats. *Int. J. Food Properties*, 2008, **11** (3), 678-686.
- [18] Kim Y., Faqih M.N., Wang S.S.: Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers.*, 2001, **46**, 135-145.
- [19] Laia O.M., Ghazalia H.M., France Cho, Chong C.L.: Physical and textural properties of an experimental table margarine prepared from lipase-catalysed transesterified palm stearin: palm kernel olein mixture during storage. *Food Chem.*, 2000, **71**, 173-179.
- [20] Ninness K.R.: Inuline and oligofructose: what are they? *J. Nutrition*, 1999, **129** (7S), 1402S-1406S.
- [21] Roberfroid M.B., van Loo J.A.E., Gibson G.R.: The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J. Nutrition*, 1998, **128**, 11-19.
- [22] Rohm H., Strobl M., Jaros D.: Butter colour affects sensory perception of spreadability. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A. Food Res. Technol.*, 1997, **205**, 108-110.
- [23] Schneeman B.O.: Fiber, inulin and oligofructose: similarities and differences. *J. Nutrition*, 1999, **129**, 1424S-1427S.
- [24] Steffe J.F.: *Rheological Methods in Food Process Engineering*, II ed. Freeman Press, USA, 1996.
- [25] Swenson B.J., Wendorff W.L., Lindsay R.C.: Effects of ingredients on the functionality of fat free process cheese spreads. *J. Food Sci.*, 2000, **65** (5), 822-825.
- [26] Tomczyńska-Mleko M.: Structure and rheology of aerated whey protein isolate gels obtained at different pH. *J. Food Nutr. Res.*, 2013, **52** (1), 61-70.
- [27] Wright A.J., Scanlon M.G., Hartel R.W., Marangoni A. G.: Rheological properties of milk fat and butter. *J. Food Sci.*, 2001, **66**, 1056-1071.

TEXTURAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MIXTURES OF INULIN AND MILK FAT STABILIZED BY LECITHIN

S u m m a r y

The objective of the research study was to compare the textural and rheological properties of emulsions produced on the basis of milk fat (15, 20 %), inulin (15, 18, 21, 24 %), and soya lecithin (2 %). The emulsions were prepared by making inulin suspensions in water, heating them to a temperature of 65 or 100 °C, and by mixing them with anhydrous milk fat of a temperature of 70 °C fat, and with lecithin. Next, the mixtures were homogenized and the finished emulsions were stored at a temperature of 5 °C for 24 hours. After that time, rheological and textural properties were determined.

Both the textural (hardness, adhesiveness, cohesiveness, and spreadability) and rheological properties (apparent viscosity, G' and G'' moduli) of the emulsions produced depended, to a significant degree, on the temperature of heating the inulin suspension. The analyzed properties of the mixtures prepared with the use of inulin suspensions heated to a temperature of 65 °C were characterized by a significantly lower standard deviation compared to those heated to a temperature of 100 °C. A probable reason thereof was that inulin lost its crystallization ability when it was wholly dissolved at 100 °C. The presence of milk fat did not catalyse the crystallization of inulin. At a lower temperature, it was possible for a homogenous emulsion to form. It was confirmed that the increase in the concentration of inulin and milk fat caused the hardness of emulsion to increase and its spreadability to decrease. Furthermore, it was found that in order to obtain the emulsion showing foreseeable textural and rheological properties, it was necessary to apply temperatures allowing the crystallisation of inulin.

Key words: inulin, milk fat, emulsions, spreadability, textural properties, rheological properties 