

DOROTA PLASKOTA

WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE JOGURTÓW W ZALEŻNOŚCI OD CZASU ICH DOJRZEWANIA

Streszczenie

Badaniom poddano dziewięć rodzajów jogurtów naturalnych o różnej zawartości tłuszczu (1,0–4,3%). W celu określenia lepkości oraz naprężenia stycznego, próbki pięciu rodzajów jogurtów, o różnych terminach przydatności do spożycia, poddawano ścinaniu przez 240 s przy kolejnych stałych szybkościach ścinania 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 500 s⁻¹. Dalsze cztery rodzaje jogurtów zbadano w podobny sposób, przy czym każdą z próbek poddawano ścinaniu przez 723 s przy kolejnych stałych szybkościach ścinania 30, 50, 70, 100, 150 s⁻¹. Dokonano pomiaru niektórych parametrów reologicznych i podjęto próbę opisanie ich za pomocą modeli reologicznych. Porównano również wyniki badań ze strukturą emulsji badanego medium.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że istnieje zależność pomiędzy wartościami parametrów reologicznych a czasem dojrzewania jogurtu, jak również zależność pomiędzy parametrami reologicznymi a strukturą emulsji badanego medium. Lepsze dopasowanie danych doświadczalnych uzyskano za pomocą modelu Herschela-Bulkley'a niż modelu Ostwalda-de Waele'a.

Słowa kluczowe: jogurt, reologia, struktura, czas dojrzewania.

Wprowadzenie

Emulsje spożywcze są substancjami złożonymi zarówno pod względem składu, jak i struktury. Mogą cechować się różnymi właściwościami reologicznymi, począwszy od emulsji o niskiej lepkości, np. mleko czy napoje mleczne, a kończąc na emulsjach będących ciałami stałymi, np. margaryna czy masło [9].

Jogurt jest emulsją typu o/w [8], w której fazę olejową stanowią kropelki tłuszczu, natomiast fazę wodną – roztwór białek, cukrów i soli mineralnych [7].

Jogurt, podobnie jak inne produkty mleczne zawierające kultury bakterii, ma strukturę żelu, która rozwija się podczas procesu fermentacji [3]. Dzięki takiej strukturze żel wykazuje zależność lepkości od czasu i szybkości ścinania [1, 2, 6, 10,

12, 13]. Ramaswamy i Basak [11] przedstawili model reologiczny, będący rozwinięciem modelu Weltmanna [15], opisujący zależność lepkości od czasu ścinania przy stałych szybkościach ścinania. Tiu i Boger [14] zastosowali model strukturalny zaproponowany przez Chenga i Evansa [5], uwzględniający parametr strukturalny λ . Głównym założeniem tego modelu jest przyjęcie w stanie równowagi stałej wartości parametru równowagowego λ_e , niezależnie od wartości szybkości ścinania.

W literaturze przedmiotu przedstawiane są również inne modele opisujące krzywe płynięcia, które mogą znaleźć zastosowanie do analizy cech reologicznych wielu produktów spożywczych, w tym także jogurtu [2]. Należą do nich między innymi:

1. Model potęgowy Ostwalda de Waele'a. Jest to najprostszy, dwuparametrowy model reologiczny, opisujący krzywe płynięcia badanego medium.

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

gdzie: τ – naprężenie styczne [Pa],
 k – współczynnik konsystencji [$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$],
 $\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania [s^{-1}],
 n – wskaźnik płynięcia [-].

2. Model Herschela-Bulkley'a. Jest to najprostszy model krzywych płynięcia nieliniowych płynów plastycznolepkich. Parametrami tego modelu są: τ_0 , k , n .

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

gdzie: τ_0 – granica płynięcia [Pa].

3. Model Butlera [4]. Jest to model umożliwiający określenie lepkości równowagowej, czyli lepkości przy czasie ścinania dążącym do nieskończoności.

$$\eta = \eta_e + A \cdot e^{-Bt} \quad (3)$$

gdzie: η – lepkość [$\text{Pa} \cdot \text{s}$],
 η_e – lepkość równowagowa [$\text{Pa} \cdot \text{s}$],
 A – stała [$\text{Pa} \cdot \text{s}$],
 B – stała czasowa [s^{-1}],
 t – czas [s].

Przedstawione powyżej modele pozwalają na wyznaczenie wartości parametrów reologicznych badanego medium oraz określenie ich zmienności w czasie.

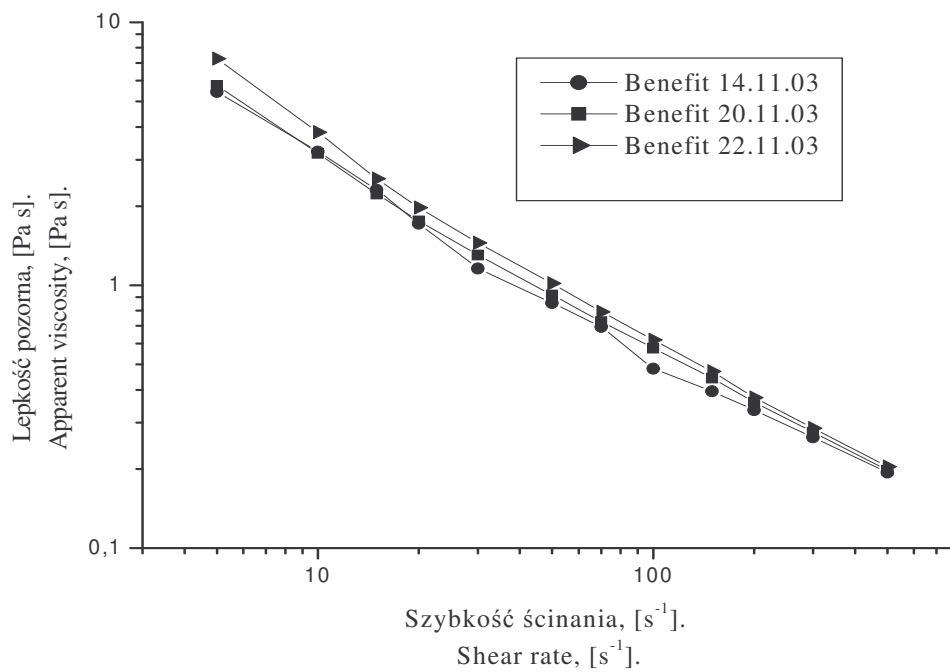
Celem niniejszej pracy było zastosowanie modeli reologicznych do uzyskania krzywych płynięcia jogurtów o różnym czasie dojrzewania, określenia zmienności ich parametrów reologicznych w czasie, a następnie powiązanie ich ze strukturą emulsji badanego medium.

Materiał i metody badań

Badaniom poddano dziewięć rodzajów handlowych jogurtów naturalnych o różnej zawartości tłuszczu (1–4,3%). W przypadku pierwszych pięciu rodzajów jogurtów (firmy Danone i Bakoma) eksperymenty wykonywane były trzykrotnie. Pierwszy pomiar wykonano dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia, drugi – cztery dni po terminie, a ostatni sześć dni po upływie daty ważności. Badania wykonywano za pomocą reometru rotacyjnego Rheotoc RC 20 firmy Haake. Przyrząd ten umożliwia wyznaczenie wartości naprężenia stycznego oraz lepkości przy zadanych szybkościach ścinania, niezbędnych do wyznaczenia krzywych płynięcia badanego medium. Jednocześnie każdą z badanych próbek obserwowano pod mikroskopem elektronowym Alphafat 2 firmy Nikon (Japonia). Każdą z próbek jogurtu przechowywano w chłodziarce w temp. 4°C. Przed każdym pomiarem sprawdzano pH próbki, którego wartość oscylowała w granicach 4,55–4,93. Wszystkie eksperymenty przeprowadzano w temp. 5°C, na świeżej próbce jogurtu (120 ml). W celu zminimalizowania zniszczenia struktury jogurtu, każdą z próbek przelewano ostrożnie do cylindra pomiarowego, pozostawiano tam przez 15 min, a następnie poddawano ścinaniu za pomocą cylindra wewnętrznego CC45. W celu określenia lepkości oraz naprężenia stycznego poddawano próbkę ścinaniu przez 240 s, przy stałej szybkości ścinania 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 500 s⁻¹. Kolejne cztery rodzaje jogurtów (firmy Jogo) poddawano podobnym pomiarom. Pierwszy pomiar wykonywano dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia, drugi w terminie, trzeci – cztery dni po terminie, a ostatni sześć dni po upływie daty ważności. Każdą z próbek poddawano stałemu ścinaniu przez 723 s, przy kolejnych stałych szybkościach ścinania: 30, 50, 70, 100, 150 s⁻¹.

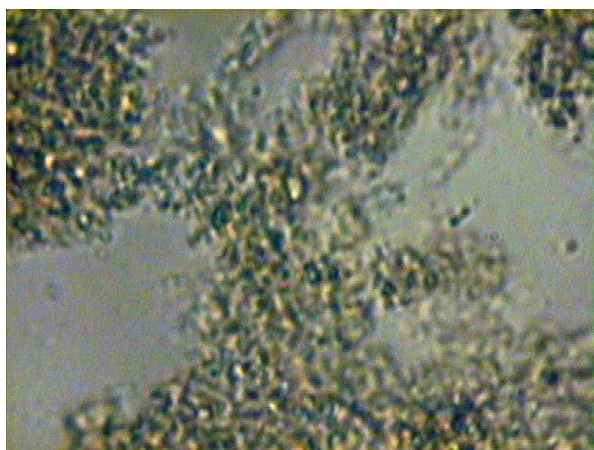
Wyniki i dyskusja

Na rys. 1. przedstawiono przykładowe krzywe płynięcia jogurtu o różnym czasie dojrzewania. Z wykresu tego wynika, że wraz ze wzrostem czasu dojrzewania następuje wzrost lepkości badanego medium. Potwierdzeniem tych badań są zdjęcia próbek obserwowanych pod mikroskopem elektronowym. Na fot. 1. i 2. przedstawiono dwie próbki tego samego jogurtu wykonane dwa dni przed i sześć dni po upływie terminu przydatności do spożycia. Porównując te dwie fotografie można wskazać na występującą zależność między strukturą a właściwościami reologicznymi badanego medium. Na fot. 2. zauważa się znaczne zagęszczenie struktury, co wiąże się również ze zwiększeniem lepkości jogurtu. W przyszłości należałoby podjąć próbę uzależnienia związku pomiędzy parametrami reologicznymi jogurtu a właściwościami mikrobiologicznymi, stanowiącymi o jego jakości. Szybkie i proste metody reometryczne mogłyby się stać prostą metodą oceny jakości jogurtów.



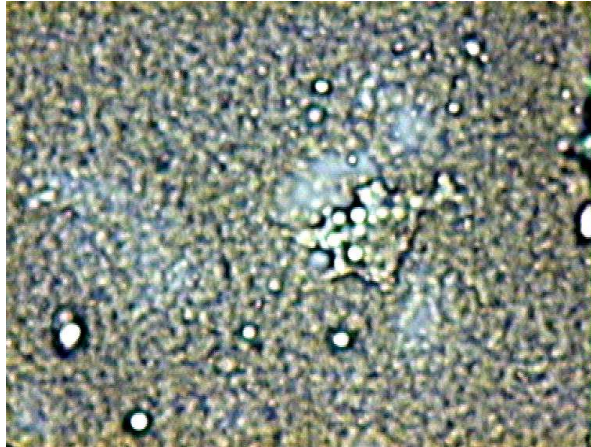
Rys. 1. Przykładowe krzywe płynięcia jogurtu Benefit o różnym czasie dojrzewania.

Fig. 1. Model Flow Curves of a Benefit yogurt showing different ageing times.

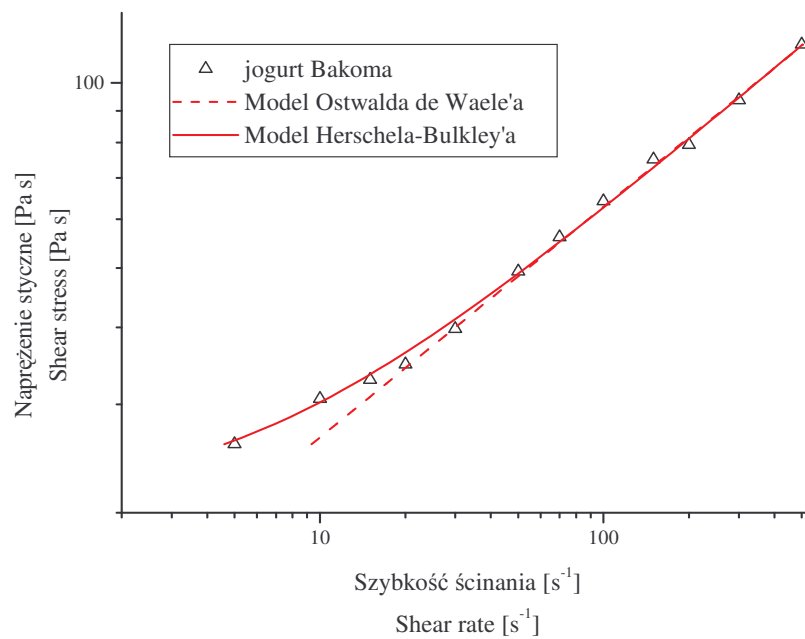


Fot. 1. Struktura jogurtu Actimel 2 dni przed upływem terminu przydatności do spożycia.

Phot. 1. The structure of Actimel yogurt 2 days before the end of its expire date.



Fot. 2. Struktura jogurtu Actimel 6 dni po upływie terminu przydatności do spożycia.
 Phot. 2. The structure of Actimel yogurt 6 days after its expire date has ended.



Rys. 2. Zależność napężenia stycznego od szybkości ścinania jogurtu Bakoma.
 Fig. 2. A dependence between the shear stress and shear rate of the Bakoma yogurt.

Na rys. 2. przedstawiono opis krzywej płynięcia wybranego jogurtu za pomocą dwóch modeli reologicznych. Pierwszym z nich był model potęgowy Ostwalda de Waele'a, zalecany w literaturze przedmiotu jako najprostszy model opisujący płyny rozrzedzane ścinaniem [10]. Drugim z nich był model Herschela-Bulkley'a, który

zastosowano w celach porównawczych. Model ten w sposób zadowalający opisuje przebieg danych doświadczalnych jogurtów o różnym czasie dojrzewania, co pokazano na fot. 2. oraz w tab. 1.

Tabela 1

Zestawienie wartości parametrów reologicznych jogurtów, obliczonych za pomocą modelu.

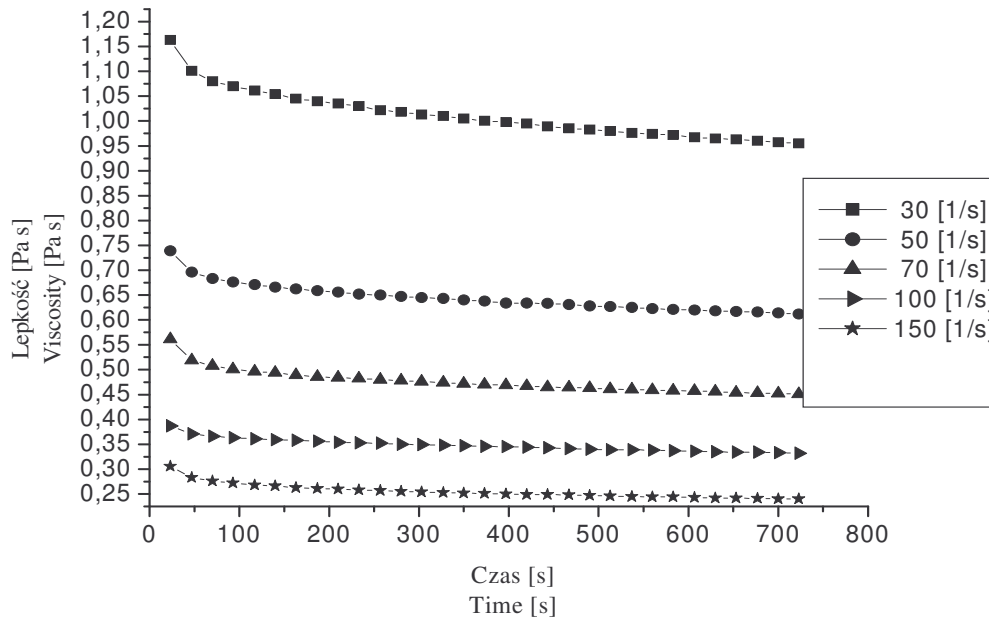
Herschela-Bulkley'a oraz modelu potęgowego Ostwalda-de Waele.

Listing of the yoghurt's rheological parameters as calculated using the Herschel-Bulkley and Ostwald de Waele models.

Nazwa jogurtu Yogurt's name	Data przydatności do spożycia Expire date	Data eksperymentu Date of experiment	Model Herschela-Bulkley'a Herschel-Bulkley model $\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$				Model potęgowy Power-law model $\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$		
			τ_0	K	n	R	k	n	R
Danone Actimel	20.11.03	18.11.03	0,56	0,023	0,857	0,99	0,013	0,922	0,99
		24.11.03	0,27	0,026	0,837	0,99	0,021	0,867	0,99
		26.11.03	0,05	0,029	0,823	0,99	0,027	0,828	0,99
Danone Activia	08.11.03	06.11.03	4,97	6,961	0,452	0,99	8,947	0,417	0,98
		12.11.03	4,54	7,240	0,448	0,99	9,282	0,415	0,96
		14.11.03	5,28	7,807	0,432	0,99	10,201	0,396	0,97
Danone naturalny Danone natural yoghurt	16.11.03	14.11.03	6,09	5,070	0,450	0,99	7,919	0,385	0,96
		20.11.03	18,60	5,930	0,440	0,99	16,263	0,305	0,95
		22.11.03	11,79	9,950	0,380	0,99	16,985	0,304	0,95
Danone bez cukru Danone yoghurt without sugar	24.11.03	22.11.03	2,59	7,210	0,432	0,99	8,414	0,409	0,96
		28.11.03	7,10	10,167	0,392	0,99	12,796	0,364	0,96
		30.11.03	3,28	10,175	0,380	0,99	12,537	0,354	0,96
Bakoma Benefit	16.11.03	14.11.03	24,34	2,092	0,57	0,99	14,537	0,296	0,95
		20.11.03	7,73	8,766	0,37	0,99	12,689	0,329	0,97
		22.11.03	8,69	10,949	0,35	0,99	16,429	0,290	0,98

Na rys. 3. przedstawiono zależność lepkości od czasu przy różnych stałych szybkościach ścinania. Na wszystkich poziomach ścinania można zauważyć znaczne zmniejszenie lepkości w czasie, zwłaszcza w początkowym okresie ścinania. Wraz ze wzrostem czasu ścinania lepkość badanego medium dąży do uzyskania lepkości równowagowej η_e . Analizując własne wyniki badań z danymi eksperymentalnymi F. Butlera, P. McNulty [4] oraz H. J. O'Donnell'ego i F. Butlera [10] należy stwierdzić, że krzywe przedstawiające zależność lepkości od czasu przy stałych szybkościach ścinania mają podobny charakter, tzn. w warunkach stałej szybkości ścinania lepkości jogurtów maleją w czasie, podobnie jak wartości lepkości równowagowych. Materiał biologiczny użyty w badaniach własnych był inny niż medium użyte w przytoczonych

publikacjach, stąd można przypuszczać, że wartości uzyskanych wyników mogą różnić się od siebie w znaczny sposób.



Rys. 3. Lepkość jogurtu Bakoma w funkcji czasu mierzona w temp. 5°C przy stałych szybkościach ścinania.

Fig. 3. The viscosity of Bakoma yogurt as a function of time measured at 5°C for the constant shearing rates.

W celu określenia lepkości równowagowej η_e uzyskano najlepsze dopasowanie krzywej, zaproponowanej przez Butlera [4] w postaci :

$$\eta = \eta_e + A \cdot e^{-B \cdot t}$$

Na podstawie danych przedstawionych w tab. 2., 3. i 4. można stwierdzić, że przy zachowaniu względnie stałej wartości parametru B, wraz z upływem terminu przydatności do spożycia, następuje wzrost parametru A (odpowiadającego za lepkość badanego medium), oraz wartość lepkości równowagowej. Przy czym zmiana η_e następuje w sposób paraboliczny, osiągając swoje minimum w dniu terminu przydatności, a następnie wzrasta osiągając wartość najwyższą spośród wszystkich serii pomiarowych.

Wartości parametrów reologicznych jogurtu naturalnego (o zaw. 3% tłuszczu) w zależności od czasu dojrzewania.

Rheological parameters of a natural yogurt (3 % of fat) depending on its ageing time.

Jogurt „Jogo” (3 % tłuszczu) - badania 2 dni przed upływem terminu ważności Yogurt „Jogo” (3 % of fat) – tests performed 2 days before the expire date					
γ [s ⁻¹]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,01792	0,69843	0,31949	0,00428	0,98
50	0,51387	0,41850	0,09537	0,00202	0,99
70	0,36313	0,30583	0,05730	0,00159	0,99
100	0,27008	0,23576	0,03432	0,00210	0,99
150	0,20209	0,17119	0,03090	0,00203	0,99
Jogurt „Jogo” (3 % tłuszczu) - badania w dniu terminu ważności Yogurt „Jogo” (3 % of fat) - tests performed on the expire day					
γ [s ⁻¹]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	0,76799	0,55316	0,21483	0,00247	0,99
50	0,43186	0,34463	0,08723	0,00205	0,99
70	0,30117	0,24876	0,05241	0,00148	0,99
100	0,22469	0,19119	0,03350	0,00190	0,99
150	0,16850	0,13961	0,02889	0,00188	0,99
Jogurt „Jogo” (3 % tłuszczu) – badania 4 dni po upływie terminu ważności Yogurt „Jogo” (3 % of fat) - tests performed 4 days after the expire date has ended					
γ [s ⁻¹]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,10519	0,80331	0,30188	0,00499	0,98
50	0,58161	0,48506	0,09655	0,00192	0,99
70	0,41921	0,36608	0,05313	0,00238	0,99
100	0,31060	0,27252	0,03808	0,00187	0,99
150	0,23267	0,20085	0,03182	0,00214	0,99
Jogurt „Jogo” (3 % tłuszczu) badania 7 dni po upływie terminu ważności Yogurt „Jogo” (3 % of fat) - tests performed 7 days after the expire date has ended					
γ [s ⁻¹]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,13124	0,92882	0,18242	0,00254	0,98
50	0,70036	0,60100	0,09936	0,00278	0,98
70	0,52348	0,44538	0,07810	0,00319	0,97
100	0,37284	0,32009	0,05275	0,00197	0,99
150	0,28745	0,23818	0,04927	0,00379	0,95

Tabela 3

Wartości parametrów reologicznych jogurtu naturalnego (o zaw. 2,2 % tłuszczu) w zależności od czasu dojrzewania.

Rheological parameters for a natural yogurt (2,2 % of fat) depending on its ageing time.

Jogurt „Jogo” (2,2 % tłuszczu) - badania 2 dni przed upływem terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (2,2 % of fat) - tests performed 2 days before the expire date					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	0,39983	0,25297	0,14686	0,00441	0,98
50	0,19072	0,14620	0,04452	0,00173	0,98
70	0,13212	0,10520	0,02692	0,00126	0,98
100	0,09658	0,07965	0,01693	0,00116	0,98
150	0,07265	0,06397	0,00868	0,00258	0,98
Jogurt „Jogo” (2,2 % tłuszczu) - badania w dniu terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (2,2 % of fat) - tests performed on the expire day					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	0,32021	0,22295	0,09726	0,0035	0,98
50	0,17285	0,13970	0,03315	0,00197	0,99
70	0,12479	0,10524	0,01955	0,00198	0,98
100	0,09227	0,07952	0,01275	0,00167	0,98
150	0,06913	0,06134	0,00779	0,00172	0,96
Jogurt „Jogo” (2,2 % tłuszczu) - badania 4 dni po upływie terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (2,2 % of fat) - tests performed 4 days after the expire date has ended					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	0,40308	0,26921	0,13387	0,00388	0,99
50	0,20407	0,13263	0,04144	0,00190	0,99
70	0,1481	0,11892	0,02489	0,00145	0,99
100	0,10660	0,09198	0,01462	0,00175	0,99
150	0,07884	0,06864	0,01020	0,00191	0,98
Jogurt „Jogo” (2,2 % tłuszczu) - badania 7 dni po upływie terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (2,2 % of fat) - tests performed 7 days after the expire date has ended					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	0,42410	0,29242	0,13168	0,00369	0,99
50	0,22168	0,17533	0,04635	0,00187	0,99
70	0,15561	0,13191	0,02370	0,00177	0,99
100	0,11477	0,09744	0,01733	0,00135	0,99
150	0,08584	0,07650	0,00934	0,00274	0,98

Tabela 4

Wartości parametrów reologicznych jogurtu naturalnego (o zaw. 3,2 % tłuszczu) w zależności od czasu dojrzewania.

Rheological parameters for a natural yogurt (3,2 % of fat) depending on its ageing time.

Jogurt „Jogo” (3,2 % tłuszczu) - badania 2 dni przed upływem terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (3,2 % of fat) - tests performed 2 days before the expire date					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,31731	0,83060	0,48671	0,00507	0,99
50	0,68255	0,51330	0,16925	0,00337	0,99
70	0,47841	0,38253	0,09588	0,00354	0,97
100	0,35050	0,28156	0,06894	0,00315	0,99
150	0,25635	0,20219	0,05416	0,00320	0,99
Jogurt „Jogo” (3,2 % tłuszczu) - badania w dniu terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (3,2 % of fat) - tests performed on the expire day					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,24088	0,81776	0,42312	0,00471	0,99
50	0,65638	0,50586	0,15052	0,00287	0,99
70	0,45897	0,37292	0,08605	0,00243	0,99
100	0,34303	0,28142	0,06161	0,00282	0,99
150	0,25973	0,20748	0,05225	0,00370	0,99
Jogurt „Jogo” (3,2 % tłuszczu) - badania 4 dni po upływie terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (3,2 % of fat) - tests performed 4 days after the expire date has ended					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,49092	0,88873	0,60219	0,00589	0,99
50	0,70175	0,52474	0,17701	0,00281	0,99
70	0,47886	0,38361	0,09525	0,00241	0,99
100	0,35283	0,28361	0,06922	0,00248	0,99
150	0,26144	0,20912	0,05232	0,00333	0,99
Jogurt „Jogo” (3,2 % tłuszczu) - badania 7 dni po upływie terminu ważności					
Yogurt „Jogo” (3,2 % of fat) - tests performed 7 days after the expire date has ended					
γ [s^{-1}]	η_0 [Pa·s]	η_e [Pa·s]	A	B	R
30	1,41421	0,90231	0,51190	0,00400	0,99
50	0,72511	0,53743	0,18768	0,00247	0,99
70	0,49596	0,38589	0,11007	0,00194	0,99
100	0,36533	0,29103	0,07430	0,00254	0,99
150	0,26681	0,20878	0,05803	0,00268	0,99

Wnioski

1. Istnieje zależność pomiędzy wartościami parametrów reologicznych a czasem dojrzewania jogurtu – przy zachowaniu względnie stałej wartości parametru n następuje wzrost parametru k . Podobnie jest w przypadku drugiej serii badań. Przy zachowaniu względnie stałej wartości parametru B , następuje wzrost parametru A (odpowiadającego za lepkość badanego medium) oraz wartość lepkości równowagowej η_e . Zmiana η_e następuje w sposób paraboliczny, osiągając swoje minimum w dniu terminu przydatności, a następnie wzrasta osiągając wartość najwyższą spośród wszystkich serii pomiarowych.
2. Lepszy opis danych doświadczalnych uzyskuje się za pomocą modelu Herschela-Bulkley'a niż modelu Ostwalda de Waele'a.
3. Istnieje zależność pomiędzy parametrami reologicznymi a strukturą emulsji badanego medium.

Literatura

- [1] Basak R., Ramaswamy H. S.: Simultaneous evaluation of shear rate and time dependency of stirred yogurt rheology as influenced by added pectin and strawberry concentrate. *J. Food Eng.*, 1994, **21**, 385-393.
- [2] Benezech T., Maingonnat J. F.: Flow properties of stirred yogurt: Modelling and influence of cooling conditions. In *Theoretical and Applied Rheology*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1992, pp. 693-695.
- [3] Benezech T., Maingonnat, J.F.: Characterisation of the rheological properties of yogurt- A review. *J. Food Eng.*, 1994, **2(4)**, 447-472.
- [4] Butler F., McNulty.: Time dependent rheological characterisation of buttermilk at 5°C Department of Agricultural and Food Engineering, University College Dublin, Earlsfort Terrace, Dublin, 1994.
- [5] Cheng D. C., Evans F.: Phenomenological characterization of the rheological behaviour of inelastic reversible thixotropic and antithixotropic fluids. *Br. J. Appl. Physics*, 1965, **16**, 1599-1617.
- [6] De Kee D., Code R. K., Turcotte, G.: Flow properties of time-dependent foodstuffs. *J. Rheol.*, 1983, **27(6)**, 581-604.
- [7] Ferguson J., Kembłowski Z.: *Reologia stosowana płynów*, Wyd. PŁ, Łódź 1995.
- [8] Gilewicz J.: *Emulsje*. PWN. Warszawa 1957.
- [9] McClements D.J.: *Food emulsions: principles, practices and techniques*. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- [10] O'Donnell H. J., Butler F.: Time-dependent viscosity of stirred yogurt. Part I: couette flow. *J. Food Eng.*, 2002, **51**, 249-254.
- [11] Ramaswamy H. S., Basak S.: Rheology of stirred yogurts. *J. Text. Stud.*, 1991, **22**, 231-241.
- [12] Steventon A.J., Parkinson C.J., Freyer P. J., Bottomley R. C.: The rheology of yogurt. In *Rheology of Food, Pharmaceutical and Biological Materials with General Rheology*, Elsevier Applied Science. London 1990, pp. 196-210.
- [13] Tan C.T.: Beverage emulsions. In K. Larsson, & S.E. Friberg (Eds.), *Food emulsions*, Marcel Dekker., New York. 1990, pp. 445-478.

- [14] Tiu C., Boger, D. V.: Complete rheological characterisation of time dependent food products. *J. Text. Stud.*, 1974, **5**, 329-338.
- [15] Weltmann, R. N.: Breakdown of thixotropic structure as function of time. *J. Appl. Physics*, 1943, **14**, 343-350.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF YOGURTS DEPENDING ON THEIR AGEING TIME

S u m m a r y

Nine samples of natural yogurts, their fat content varying (from 1, 0 to 4, 3 %), were tested. For the purpose of determining a viscosity and shear stress, samples of five types of yogurts having different expire dates were investigated during a 240 s long shearing testing procedures, at the constant shearing rates of: 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, and 500 s⁻¹. Another four types of yogurts were investigated in a similar way; each sample was tested during a period of 723 s at the constant shearing rates of 30, 50, 70, 100, and 150 s⁻¹. Some rheological parameters were measured; then, a trial was made to describe those parameters using rheological models. The investigation results were compared with the emulsion structure of the medium investigated.

On the basis of experiments performed it was stated that there was a relationship between the values of rheological parameters and the ageing time of yoghurt, as well as a relationship between the rheological parameters and the emulsion structure of the medium tested. The experimental data were better adjusted using a Herschel-Bulkley model than an Ostwald-de Waele model.

Keywords: yogurt, rheology, texture, time of ageing 