

DOROTA PLASKOTA

WYZNACZENIE OBSZARU OPTYMALNYCH SZYBKOŚCI ŚCINANIA JOGURTÓW O RÓŻNYM CZASIE DOJRZEWANIA

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań własności reologicznych jogurtów o różnym czasie dojrzwania. Badaniom poddano trzy rodzaje jogurtów naturalnych, o różnej zawartości tłuszczu (2,2–3,2%). Każdy rodzaj jogurtu poddawano eksperymentom czterokrotnie, w różnych terminach przydatności do spożycia. W celu określenia wartości lepkości oraz naprężenia stycznego poddawano próbkę ścinaniu przez 713 s przy kolejnych, stałych szybkościach ścinania 30, 50, 70, 100 i 150 s⁻¹. Interwał czasowy wynosił 23 s, co umożliwiło uzyskanie 31 punktów doświadczalnych w każdej serii pomiarowej. Dokonano pomiaru niektórych parametrów reologicznych i podjęto próbę opisanie ich za pomocą modelu matematycznego. Na podstawie analizy wyników badań wyznaczono obszar optymalnych szybkości ścinania jogurtów o różnym czasie dojrzwania. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów najlepsze przybliżenie danych doświadczalnych do krzywej postaci $\eta = f(t)$ otrzymano w przypadku 29 punktów doświadczalnych. Wskazuje na to najniższa wartość współczynnika wariancji CV oraz najwyższa współczynnika korelacji R w całym przedziale wykonanych eksperymentów. Ponadto stwierdzono, że istnieje związek pomiędzy wartością szybkości ścinania, a strukturą badanego medium.

Słowa kluczowe: jogurt, reologia, czas dojrzwania.

Wprowadzenie

W ostatnich latach zauważa się znaczny rozwój badań w zakresie bioreologii. Wiele właściwości emulsji spożywczych, takich jak: kremowość, smarowność czy płynność, jest bezpośrednio związanych z ich cechami reologicznymi. Cechy te mają także istotne znaczenie w projektowaniu procesów jednostkowych z udziałem emulsji, obejmujących m.in. przepływ przez rury, mieszanie czy pakowanie [9].

Jogurt jest emulsją typu o/w, w której fazę olejową stanowią kropelki tłuszczu, natomiast fazę wodną – roztwór białek, cukrów i soli mineralnych [11].

Jogurt, podobnie jak inne produkty mleczne zawierające kultury bakterii, ma strukturę żelu, który rozwija się podczas procesu fermentacji [2]. W wyniku tego procesu bakterie powodują zmniejszenie wartości pH mleka poprzez zamianę laktozy

na kwas mlekowy. Gdy pH osiąga wartość 5,0, micelle kazeiny zostają częściowo zdestabilizowane i zaczynają się ze sobą łączyć w formę agregatów i łańcuchów, tworząc trójwymiarową macierz białkową z unieruchomioną fazą ciekłą mleka. Proces ten wpływa w bardzo istotny sposób na strukturę i właściwości sensoryczne jogurtu.

Swoista struktura jogurtu sprawia, że występują powiązania lepkości z czasem i szybkością ścinania [1, 3, 7], dlatego też wielu badaczy [5, 6, 8] podjęło próbę sformułowania zależności pomiędzy tymi parametrami.

W literaturze przedmiotu opublikowano kilka modeli opisujących krzywe płynięcia, mogących znaleźć zastosowanie do opisu wielu produktów spożywczych, w tym również jogurtu [2]. Należą do nich między innymi:

- Model potęgowy Ostwalda - de Waele'a – najprostszy, dwuparametrowy model reologiczny, opisujący krzywe płynięcia badanego materiału.

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

gdzie:

τ – naprężenie styczne [Pa],
 k – współczynnik konsystencji [Pa·sⁿ],
 $\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania [s⁻¹],
 n – wskaźnik płynięcia [-].

- Model Herschela - Bulkley'a – 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].

- Model Crossa – pozwalający na określenie lepkości równowagowej, czyli lepkości przy szybkości ścinania dążącej do nieskończoności.

$$\eta = \eta_e + \frac{\eta_o - \eta_e}{[1 + (k \cdot \dot{\gamma}^n)]} \quad (3)$$

gdzie:

η – lepkość [Pa·s],
 η_e – lepkość równowagowa [Pa·s],
 η_o – lepkość przy szybkości ścinania dążącej do zera, [Pa·s].

- Model F. Butler i P. McNulty [4] – umożliwiający określenie lepkości równowagowej oraz uzależnienie parametrów reologicznych badanego materiału od czasu. Powyższe czynniki wpłynęły na wybór modelu F. Butler i P. McNulty do opisu danych doświadczalnych w prezentowanej pracy.

$$\frac{1}{\eta - \eta_e} = \frac{1}{\eta_0 - \eta_e} + A_1 \cdot t \quad (4)$$

gdzie:

A_1 – parametr $[(\text{Pa} \cdot \text{s}^{-2})^{-1}]$,

t – czas [s].

W celu określenia wartości lepkości równowagowej, czyli wartości lepkości przy szybkości ścinania dążącej do nieskończoności dokonano przekształceń.

Przyjmując, że

$$y = \frac{1}{\eta - \eta_e} \quad (5)$$

$$A_0 = \frac{1}{\eta_0 - \eta_e} \quad (6)$$

gdzie:

A_0 – parametr $[(\text{Pa} \cdot \text{s})^{-1}]$, podstawiono zależność (5) i (6) do (4) i otrzymano liniową postać modelu F. Butler i P. McNulty o następującej postaci:

$$y = A_0 + A_1 \cdot t \quad (7)$$

Powyższe podstawienie miało za zadanie linearyzować podstawową zależność $\eta^{-1} = f(t)$.

Celem niniejszej pracy było określenie zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami reologicznymi jogurtu, określenie ich zmienności w czasie oraz podjęcie próby wyznaczenia obszaru optymalnych szybkości ścinania jogurtów o różnym czasie dojrzewania.

Materiał i metody badań

Badaniom poddano trzy rodzaje jogurtów naturalnych, o różnej zawartości tłuszczu (2,2–3,2%), zakupionych w łódzkiej mleczarni. Każdy rodzaj jogurtu poddawano eksperymentom czterokrotnie. Pierwszy pomiar wykonano dwa dni przed terminem przydatności do spożycia, drugi w terminie, kolejny – cztery dni po terminie, a ostatni siedem dni po upływie daty ważności. Badania wykonywano za pomocą reometru rotacyjnego Rheotoc RC 20 firmy Haake. Jogurt przechowywano w temp. 4°C. Przed każdym pomiarem sprawdzano pH próbki, które wynosiło około 4,55. Wszystkie eksperymenty prowadzono w temp. 5°C w świeżych próbkach jogurtu (120 ml). W celu zminimalizowania zniszczenia struktury jogurtu, każdą z próbek przelewano ostrożnie do cylindra miarowego, pozostawiano tam przez 15 min, a następnie poddawano ścinaniu za pomocą cylindra wewnętrznego CC45. W celu określenia wartości lepkości oraz naprężenia stycznego, poddawano próbkę ścinaniu przez 713 s przy kolejnych, stałych szybkościach ścinania 30, 50, 70, 100 i 150 $[\text{s}^{-1}]$. Przedział czasowy wynosił 23 s, co umożliwiło uzyskanie 31 punktów doświadczalnych w każdej serii pomiarowej.

Wyniki badań i dyskusja

Do opracowania wyników badań wybrano model F. Butler i P. McNulty [4]. Model ten umożliwił przedstawienie zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami reologicznymi jogurtu, a także określenie ich zmienności w czasie. Szukano najlepszego równania regresji opisującego zależność przedstawioną funkcją (7). Podstawą oceny dopasowania było obliczenie współczynnika R oraz współczynnika wariancji CV, dla 31, 30 i 29 punktów doświadczalnych każdej serii pomiarowej. Podstawą odrzucenia punktów był rozkład normalny Gaussa w granicach $\pm 3 \cdot \delta$ (odchylenia standardowe), czyli w granicach przedziału ufności 99,73%. Zaproponowany model sprowadza się do rozwiązywania funkcji uwikłanych. Wyznaczone parametry reologiczne danego jogurtu nie są stałe, lecz zależą od zawartości tłuszczu, rodzaju jogurtu, czasu przechowywania, szybkości ścinania. W każdym przypadku można znaleźć zbiór współzależnych parametrów reologicznych (η_e , A0, A1), jednoznacznie opisujących stan jogurtu w danym momencie. Wartości parametrów reologicznych wyznaczano metodą prób i błędów, wykorzystując jako miarę najlepszego dopasowania najniższą wartość współczynnika wariancji CV oraz najwyższą wartość współczynnika korelacji R. W tab. 1. przedstawiono przykładowe wartości parametrów reologicznych jogurtu o zawartości tłuszczu 3,2% i o różnym czasie dojrzewania, obliczonych na podstawie równania (7). Najlepsze dopasowanie punktów doświadczalnych $[y = f(\eta^{-1}), t]$ do prostej (7) otrzymano w przypadku 29 punktów doświadczalnych. Przy każdej zmianie szybkości ścinania pierwszy punkt, a najczęściej dwa punkty doświadczalne nie układały się na prostej (rys. 1). Nie są to jednak przypadkowe błędy losowe. Zjawisko to należy tłumaczyć faktem, że każda skokowa zmiana szybkości ścinania wskutek bezwładności badanego materiału wymaga pewnego czasu na dojście do stanu równowagi dynamicznej. Potwierdza to również najniższa wartość współczynnika wariancji CV oraz najwyższa wartość współczynnika korelacji R w całym przedziale wykonanych eksperymentów.

Na podstawie wyników pomiarów lepkości (tab. 1, rys. 1 i 2) można stwierdzić, że optymalny przedział szybkości ścinania zawiera się w granicach ($20 \div 100 \text{ s}^{-1}$). Przy szybkości ścinania większej niż 100 s^{-1} można zauważyć, że wyniki pomiarów są do siebie bardzo zbliżone, a nawet w kolejnych punktach przyjmują takie same wartości, czego wynikiem jest zwiększona wartość współczynnika wariancji CV oraz współczynnika korelacji R. Potwierdzeniem powyższej tezy jest również rys. 3., na którym pokazano, w jak znacznym stopniu dane doświadczalne przy szybkości ścinania większej od 100 s^{-1} odbiegają od pozostałych punktów, układających się w przybliżeniu na prostej.

Tabela 1

Wartości parametrów reologicznych jogurtu naturalnego (o zaw. 3,2% tłuszczu).
Rheological parameters of a natural yogurt (showing a fat content of 3.22%).

Termin wykonywanych badań Day of testing	Wielkość mierzona Measured value	γ [s ⁻¹]	Liczba punktów doświadczalnych The number of experimental points		
			29	30	31
Dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia. Two days before the expire date	η_e [Pa·s]	30	0,6809	0,6896	0,7017
		50	0,4450	0,4483	0,4562
		70	0,3238	0,3390	0,3435
		100	0,2472	0,2503	0,2559
		150	0,1769	0,1784	0,1820
W dniu terminu przydatności do spożycia. On the day of the expire date	η_e [Pa·s]	30	0,6818	0,6894	0,7009
		50	0,4316	0,4363	0,4477
		70	0,3250	0,3292	0,3383
		100	0,2498	0,2522	0,2574
		150	0,1861	0,1873	0,1901
Cztery dni po upływie terminu przydatności do spożycia. Four days before the expire date	η_e [Pa·s]	30	0,7095	0,7208	0,7379
		50	0,4409	0,4464	0,4611
		70	0,3156	0,3210	0,3360
		100	0,2552	0,2569	0,2625
		150	0,1793	0,1812	0,1852
Siedem dni po upływie terminu przydatności do spożycia. Seven days before the expire date	η_e [Pa·s]	30	0,7404	0,7461	0,7545
		50	0,4397	0,4432	0,4455
		70	0,3307	0,3348	0,3429
		100	0,2436	0,2473	0,2549
		150	0,1842	0,1870	0,1897
Dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia. Two days before the expire date	CV [%]	30	1,099137	1,459320	2,210220
		50	0,458286	0,642896	1,424085
		70	0,526367	1,917949	2,393479
		100	0,849437	1,135395	2,081562
		150	1,099731	1,254019	2,025605
W dniu terminu przydatności do spożycia. On the day of the expire date	CV [%]	30	0,919055	1,250002	1,988846
		50	0,603418	0,766224	1,567322
		70	0,611567	0,769992	1,528895
		100	0,864940	1,036224	1,813398
		150	1,450282	1,625904	2,395830
Cztery dni po upływie terminu przydatności do spożycia. Four days before the expire date	CV [%]	30	0,786498	1,063085	1,686424
		50	0,364560	0,485942	1,136208
		70	0,432034	0,526979	1,148005
		100	0,498297	0,573009	1,234488
		150	0,700579	0,830200	1,397066

Tab. 1 c.d.

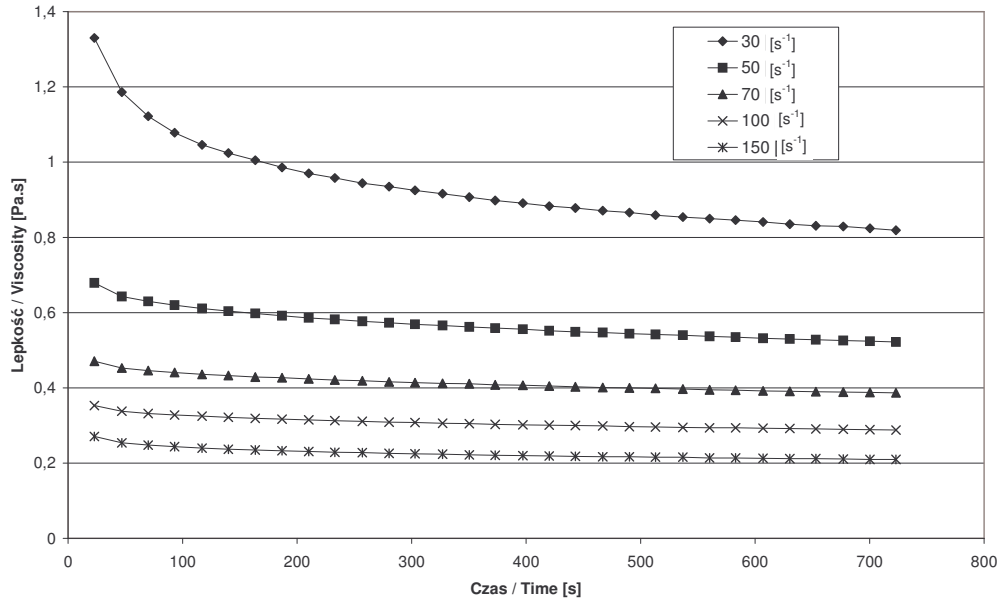
Termin wykonywanych badań Date of testing	Wielkość mierzona Measured value	γ [s ⁻¹]	Liczba punktów doświadczalnych The number of experimental points		
			29	30	31
Siedem dni po upływie terminu przydatności do spożycia Seven days before the expire date	CV [%]	30	1,472262	1,714325	2,260134
		50	0,327686	0,428663	0,486136
		70	0,523936	0,675520	1,249842
		100	0,601099	0,792512	1,611149
		150	0,882078	1,289935	1,836605
Dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia Two days before the expire date	R	30	0,998807	0,998269	0,996862
		50	0,999694	0,999488	0,998062
		70	0,999338	0,994804	0,993701
		100	0,998625	0,998034	0,995327
		150	0,997885	0,997700	0,995584
W dniu terminu przydatności do spożycia On the day of the expire date	R	30	0,999124	0,998657	0,997315
		50	0,999275	0,999022	0,997010
		70	0,999025	0,998741	0,996543
		100	0,998423	0,998140	0,995922
		150	0,997024	0,996875	0,994947
Cztery dni po upływie terminu przydatności do spożycia Four days before the expire date	R	30	0,999220	0,998816	0,997641
		50	0,999688	0,999529	0,998086
		70	0,999292	0,999124	0,997163
		100	0,999469	0,999396	0,997921
		150	0,998938	0,998752	0,997336
Siedem dni po upływie terminu przydatności do spożycia Seven days before the expire date	R	30	0,998260	0,998009	0,997169
		50	0,999788	0,999687	0,999646
		70	0,999283	0,999016	0,997517
		100	0,999035	0,998647	0,996143
		150	0,998623	0,997723	0,996457
Dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia Two days before the expire date	A0 [1/Pa·s]	30	1,67629	1,61540	1,51043
		50	4,24868	4,22690	4,14714
		70	7,11438	7,35855	7,28861
		100	10,02180	10,06571	10,00016
		150	12,92391	12,92128	12,80766
W dniu terminu przydatności do spożycia On the day of the expire date	A0 [1/Pa·s]	30	1,87328	1,81833	1,71631
		50	4,52770	4,55006	4,57042
		70	7,57346	7,70143	7,92278
		100	10,96238	11,04868	11,13688
		150	14,04325	13,91488	13,48847
Cztery dni po upływie terminu przydatności do spożycia Four days before the expire date	A0 [1/Pa·s]	30	1,46812	1,44563	1,40071
		50	3,54367	3,57417	3,64274
		70	5,59495	5,72060	6,07281
		100	9,09855	9,14908	9,27480
		150	11,58590	11,67301	11,79973

Tab. 1 c.d.

Siedem dni po upływie	A0 [1/Pa·s]	30	1,40986	1,34847	1,24931
-----------------------	--------------	----	---------	---------	---------

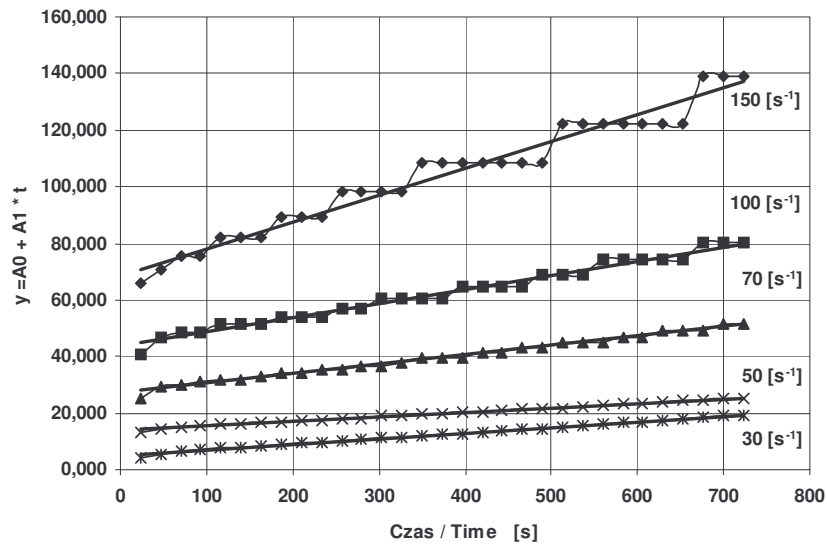
terminu przydatności do spożycia. Seven days before the expire date		50	3,86256	3,87561	3,88302
		70	6,84027	6,94104	7,11264
		100	9,33459	9,50832	9,79116
		150	13,49379	13,50142	13,35871
Dwa dni przed upływem terminu przydatności do spożycia. Two days before the expire date	A1 [1/Pa·s ²]	30	0,00700	0,00764	0,00866
		50	0,01131	0,01205	0,01410
		70	0,01201	0,01828	0,02117
		100	0,02058	0,02330	0,02969
		150	0,02871	0,03112	0,03812
W dniu terminu przydatności do spożycia. On the day of the expire date	A1 [1/Pa·s ²]	30	0,00735	0,00797	0,00906
		50	0,00894	0,00971	0,01201
		70	0,01190	0,01331	0,01731
		100	0,02058	0,02275	0,02871
		150	0,03844	0,04157	0,05026
Cztery dni po upływie terminu przydatności do spożycia. Four days before the expire date	A1[1/Pa·s ²]	30	0,00456	0,00495	0,00563
		50	0,00607	0,00652	0,00795
		70	0,00659	0,00725	0,00966
		100	0,01689	0,01789	0,02186
		150	0,02128	0,02311	0,02778
Siedem dni po upływie terminu przydatności do spożycia. Seven days before the expire date	A1[1/Pa·s ²]	30	0,00797	0,00845	0,00924
		50	0,00770	0,00812	0,00841
		70	0,01073	0,01184	0,01458
		100	0,01438	0,01624	0,02129
		150	0,02967	0,03471	0,04084

Proces ścinania jogurtu powoduje rozpad jego struktury. Przy szybkościach ścinania powyżej 100 s^{-1} dochodzi do ustalenia się stanu równowagi dynamicznej. Występują jedynie niewielkie zmiany struktury jogurtu, co manifestuje się niewielkimi zmianami lepkości. Można również zauważyć serie po 6÷7 identycznych wyników pomiarów lepkości (rys. 1 i 2). Dlatego też przy tak wysokich wartościach szybkości ścinania prowadzenie eksperymentów wydaje się bezcelowe. Dodatkowym uzasadnieniem takiego stwierdzenia jest wykres zależności $A_0 = f(\eta_e)$ (rys. 4, 5 i 6), z którego wynika, że bardzo wysokie szybkości ścinania (większe od 100 s^{-1}), powodują szybsze rozbitcie złożonych struktur białkowych, doprowadzając do stanu granicznego, co manifestuje się charakterem krzywej z wyodrębnieniem maksimum (rys. 6). Należy więc stwierdzić, że optymalne warunki prowadzenia eksperymentów otrzymuje się przy szybkości ścinania mniejszej od 100 s^{-1} .



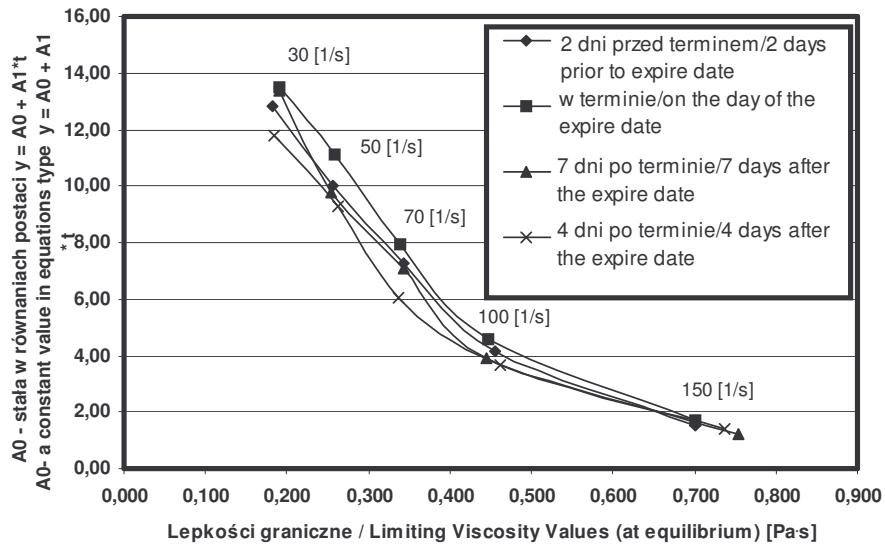
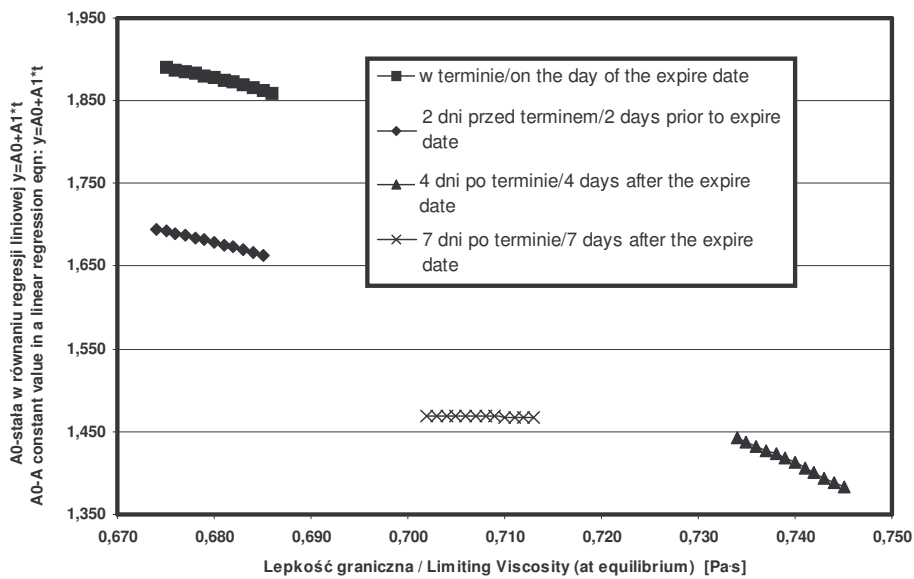
Rys. 1. Lepkość jogurtu (zaw. tłuszczu 3,2%) w funkcji czasu, w temp. 5°C przy stałych szybkościach ścinania.

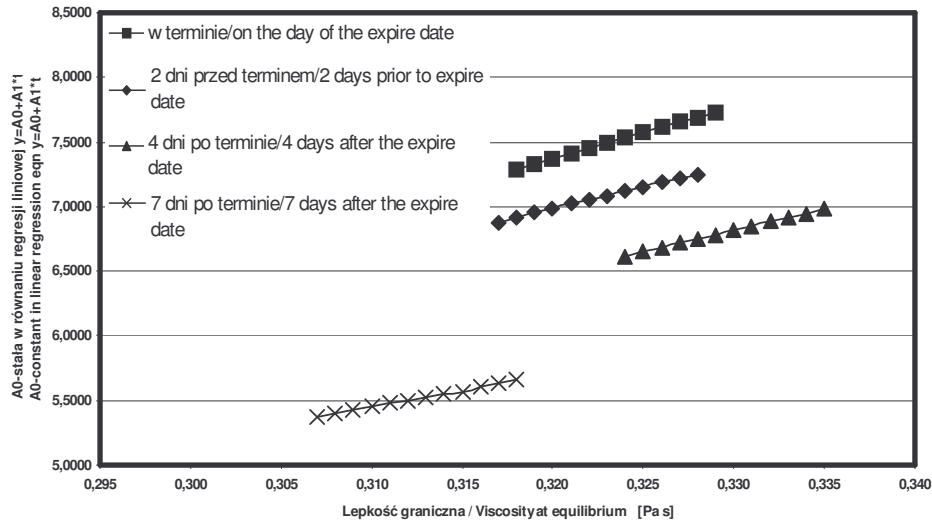
Fig. 1. The viscosity of yogurt (3.2% fat content) as a function of time at 5°C at constant shearing rates.



Rys. 2. Zależność $y = f(t)$ przy szybkości ścinania 30, 50, 70, 100, 150 [s⁻¹].

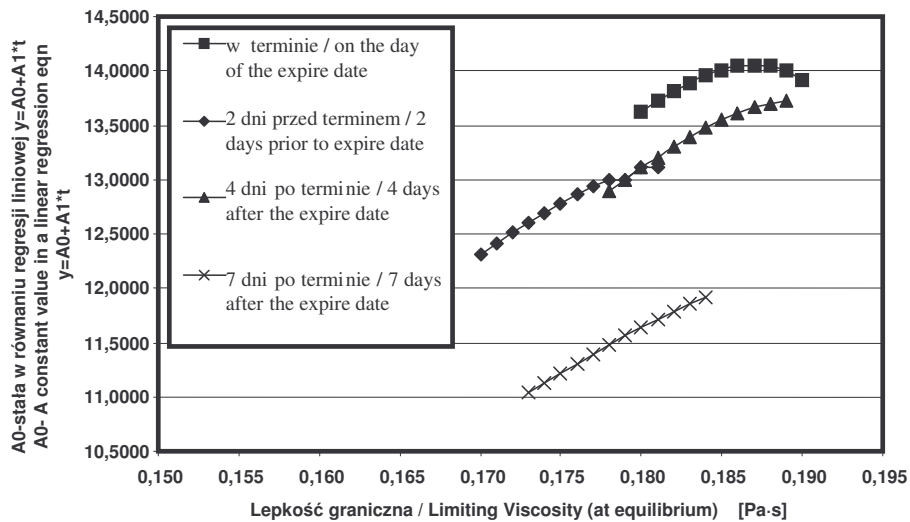
Fig. 2. The relation $y = f(t)$ at shearing rates of 30, 50, 70, 100, 150 [s⁻¹].

Rys. 3. Zależność $A0 = f(\eta_e)$ przy szybkości ścinania 30, 50, 70, 100, 150 $[s^{-1}]$.Fig. 3. The relation $A0 = f(\eta_e)$ at a shearing rate of 30, 50, 70, 100, 150 $[s^{-1}]$.Rys 4. Zależność $A0 = f(\eta_e)$ przy szybkości ścinania 30 $[s^{-1}]$.Fig. 4. The relation $A0 = f(\eta_e)$ at a shearing rate of 30 $[s^{-1}]$.



Rys 5. Zależność $A_0 = f(\eta_e)$ przy szybkości ścinania $70 \text{ [s}^{-1}\text{]}$.

Fig. 5. The relation $A_0 = f(\eta_e)$ at a shearing rate of $70 \text{ [s}^{-1}\text{]}$.



Rys. 6. Zależność $A_0 = f(\eta_e)$ przy szybkości ścinania $150 \text{ [s}^{-1}\text{]}$.

Fig. 6. The relation $A_0 = f(\eta_e)$ at a shearing rate of $150 \text{ [s}^{-1}\text{]}$.

Porównując własne wyniki badań z eksperymentami przeprowadzonymi przez O'Donnel i Butler [10] oraz Butler i McNulty [4] 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 zresztą jak wartości lepkości równowagowych. Materiał biologiczny użyty w badaniach własnych był inny niż w przytoczonych publikacjach, stąd wartości uzyskanych wyników mogą różnić się od siebie w znaczny sposób.

Wnioski

1. Model Butler i McNulty polega na rozwiązywaniu funkcji uwikłanych i pozwala na liniowy opis procesów zachodzących w materiale biologicznym o charakterze emulsji.
2. Najlepsze przybliżenie danych doświadczalnych do krzywej postaci $\eta = f(t)$ otrzymano w przypadku 29 punktów doświadczalnych. Wskazuje na to najniższa wartość współczynnika wariancji CV oraz najwyższa współczynnika korelacji R w całym przedziale wykonanych badań.
3. Istnieje związek pomiędzy pomiarami lepkości a zawartością tłuszczu w badanym medium.
4. Wyznaczono obszar optymalnych szybkości ścinania jogurtów o różnym czasie dojrzewania. Proponuje się wykonywanie badań własności reologicznych jogurtów w następującym zakresie szybkości ścinania
 - od 30 do około 110 s⁻¹ materiał o niższej zawartości tłuszczu
 - od 20 do około 100 s⁻¹ materiał o wyższej zawartości tłuszczu.

Literatura

- [1] Basak S., 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.: Characterisation of the rheological properties of yogurt- A review. *J. Food Eng.*, 1994, **2/(4)**, 447-472.
- [3] Benezech T., Maingonnat J.F.: Flow properties of stirred yogurt: Modelling and influence of cooling conditions. In *Theoretical and Applied Rheology* (P. Moldenaers and R. Keunings, eds.). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1992, pp. 693-695.
- [4] Butler F., McNulty P.: Time dependent rheological characterisation of buttermilk at 5 °C. *J. Food Eng.*, 1995, **25**, 569-580.
- [5] Cheng D.C H.: A differential form of constitutive relation for thixotropy, *Rheol. Acta*, 1973, **12**, 228.
- [6] Cheng D.C.H., Evans F.: Phenomenological characterisation of the rheological behaviour of inelastic reversible thixotropic and antithixotropic fluids. *Br. J. Appl. Phys.*, 1965, **16**, 1599.
- [7] De Kee D., Code R.K., Turcotte G.: Flow properties of time-dependent foodstuffs. *J. Rheol.*, 1983, **27(6)**, 581-604.
- [8] Hahn S.J., Ree T., Eyring H.: Flow mechanism of thixotropic substances. *Ind. Eng. Chem.*, 1959, **51**, 856.
- [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] Tan C.T.: Beverage emulsions. In: K. Larsson, S.E. Friberg: Food emulsions. Ed. Marcel Dekker, 2nd ed, New York 1990, pp. 445-478.

DETERMINING A RANGE OF OPTIMAL SHEARING RATES IN YOGURTS SHOWING DIFFERENT AGING TIMES

S u m m a r y

In the paper, there are discussed results obtained while investigating rheological properties of yogurts with different ageing times. Three types of natural yogurts showing various fat contents (2.2–3.3%) were four times tested. The tests were performed on different days during the expiry periods of yoghurts. Each test of a yogurt sample lasted 713 s, and during this time, the following constant shearing rates were applied, one after another: 30, 50, 70, 100 and 150 s⁻¹. The time interval was 23 s, and it was possible to score 31 testing points in each measuring series during this time. Some rheological parameters were measured, and an attempt was made to describe them using a mathematical model. Next, the results obtained were analysed, and, on this basis, a range of optimal shearing rates was determined for yogurts showing different ageing times. Based on the experiments accomplished, it was found that the experimental data were the nearest to the curve $\eta = f(t)$ in case of 29 experimental points. This fact is proved by the lowest value of the 'CV' variance coefficient and the highest value of the 'R' correlation coefficient within the whole range of the experiments carried out. In addition, it was stated the existence of a relationship between the value of a shearing rate and the structure of a medium under investigation.

Key words: yogurt, rheology, ageing time. ☒