# DYNAMIKA ZMIAN OKSYDACYJNYCH W CZASIE PRZECHOWYWANIA EMULSJI TŁUSZCZOWEJ W OPAKOWANIACH Z ALUMINIUM ORAZPOLITEREFTALANU ETYLENU

Elżbieta KONDRATOWICZ-PIETRUSZKA[1]*, Lidia OSTASZ[2], and Joanna GROBELNY[3]

[1] Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków; kondrate@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID 0000-0003-4684-7496
[2] Uniwersytet Ekonomiczny1, Kraków; ostaszl@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID 0000-0002-5455-5779
[3]Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków; j.m.grobelny@gmail.com
* Korespondencja: kondrate@uek.krakow.pl; Tel.: +48-122-937-858

**Streszczenie:** Spożycie tłuszczów roślinnych charakteryzuje się wysoką konsumpcją. Obrót towarowy tymi tłuszczami wymaga stosowania odpowiednich opakowań zabezpieczających produkt przed niekorzystnymi zmianami oksydacyjnymi. Wśród wielu proponowanych materiałów opakowaniowych na uwagę zasługuje aluminium oraz politereftalan etylenu.
Celem pracy było określenie dynamiki zmian oksydacyjnych w czasie przechowywania emulsji tłuszczowej w opakowaniach z aluminium oraz politereftalanu etylenu, w warunkach chłodniczych
Badania przechowalnicze margaryn miękkich przeprowadzane były w warunkach chłodniczych w temperaturze 5°C±0,5, bez dostępu światła, przez 43 dni. Jakość emulsji była oceniana co 7 dni, na podstawie oznaczeń liczby nadtlenkowej.
Wartości końcowe liczby nadtlenkowej po 43 dobach przechowywania margaryny w temp. 5°C±0,5, bez dostępu światła wynosiły 16,52 mEq $O_2$/kg w opakowaniu ALU oraz 17,845 mEq $O_2$/kg w opakowaniu PET. Zmiany liczby nadtlenkowej w czasie miały charakter krzywych akceleracyjnych rosnących typu aw, czyli zmiany parametru oraz dynamika wzrostu rosły w czasie. Na podstawie przeprowadzonej analizy kinetycznej z wykorzystaniem modeli akceleracyjno-wzrostowych wyznaczono rzędy analizowanych procesów, które wynosiły n = $2{,}1\%^{-1{,}1}\cdot\text{doba}^{-1}$ oraz obliczono średnie stałych szybkości oraz błąd bezwzględny dopasowania zastosowanego modelu do danych doświadczalnych. Wartości średnich stałych szybkości wykorzystano do obliczenia szybkości oraz stosunku afiniczności analizowanych procesów, który wyniósł 1,23.

**Słowa kluczowe:** margaryna, liczba nadtlenkowa, analiza kinetyczna

# DYNAMICS OF OXIDATIVE CHANGES DURING STORING THE FAT EMULSION IN PACKAGING WITH ALUMINUM AND POLYETHYLENEETHALATE

**Abstract:** The consumption of vegetable fats is characterized by high consumption. Trade in these fats requires appropriate packaging that protects the product against adverse oxidative changes. Among the many proposed packaging materials, aluminum and polyethylene terephthalate deserve attention.
The aim of the study was to determine the dynamics of oxidative changes during storage of the fat emulsion in aluminum and polyethylene terephthalate packaging under cooling conditions.
In the absence of light, the storage tests of soft margarine were carried out under refrigerated conditions at the temperature of 5°C ± 0.5, for 43 days. The quality of the emulsion was assessed every seven days based on the determination of the peroxide value.
The final values of the peroxide number after 43 days of margarine storage at 5°C ± 0.5, in the absence of light, were 16.52 $mEqO_2/kg$ in the ALU package and 17.845 $mEqO_2/kg$ in the package PET. The changes in the peroxide number over time had the character of acceleration curves of the aw type. Changes in the parameter and the growth dynamics increased over time. Based on the performed kinetic analysis with the use of acceleration-growth models, the orders of the analyzed processes were determined, which amounted to n = 2.1% $^{-1.1} \cdot day^{-1}$, and the mean of the rate constants and the absolute error of the model fit to the experimental data were calculated. The values of the mean rate constants were used to calculate the speed and the ratio of affinity of the analyzed processes, which was 1.23.

**Keywords:** margarine, peroxide number, kinetic analysis

## 1. Wprowadzanie

W podaży margaryn miękkich przeznaczonych do smarowania pieczywa, na polskim rynku dominują marki mające charakter ogólnopolski lub międzynarodowy np. „Rama" koncernu Unilever Polska Sp. z o.o., która jest najstarszą marką. Ponadto, margaryna „Rama" jako pierwsza była produkowana oraz sprzedawana na skalę przemysłową na świecie i dała początek tej kategorii produktów (Białek and Kondratowicz, 2013). W margarynach tych składnikami są różne oleje (rzepakowy, słonecznikowy, palmowy, lniany, oliwa z oliwek, kokosowy, z awokado, orzechów włoskich) oraz różne składniki funkcjonalne, w tym witaminy A, D, E oraz z grupy B, kwasy tłuszczowe omega-3 i omega-6, sole wapnia (Nasze produkty, 2022).

W swojej ofercie Unilever Polska Sp. z o.o. posiada także markę Flora, która jest wzbogacona kwasami omega-3 i omega-6 („Flora Original") oraz dodatkami prozdrowotnymi, takimi jak sterole roślinne, witaminy B lub D („Flora Pro.activ") (Produkty Flora, 2022).

Margaryny miękkie, tzw. kubkowe są głównie przeznaczone do smarowania pieczywa. Ich opakowanie musi zabezpieczać produkt przed wyciekiem podczas ewentualnego roztopienia

się w podwyższonej temperaturze (Krygier, 2010; Elves, 2017). Do tego celu wykorzystuje się opakowania typu kubki oraz pudełka wykonane z tworzyw sztucznych.

Do produkcji kubków oraz pudełek początkowo wykorzystywano polistyren PS wysokoudarowy, a następnie polistyren PS połączony z warstwą polietylenową PE (Szlezyngier and Brzozowski, 2012). Obecnie podstawowymi materiałami opakowaniowymi stosowanymi do pakowania margaryn są polipropylen PP i polietylen niskiej gęstości LDPE. Wymienione tworzywa są szczególnie cenione za takie cechy jak: bezwonność, bezbarwność oraz brak smaku, przez co właściwości przechowalnicze margaryny nie ulegają pogorszeniu. Ponadto tworzywa PP i PE charakteryzuje większa odporność na ich interakcje z tłuszczami, w porównaniu z PS (Ebnesajjad, 2013; Robertson, 2013).

Polipropylen charakteryzuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, wysoką barierowością wobec pary wodnej oraz tlenu (Piringer and Baner, 2008). Opakowania z polipropylenu stosuje się najczęściej do pakowania artykułów spożywczych, w tym jogurtów i margaryn, a także produktów farmaceutycznych. Polipropylen wykorzystuje się w produkcji foli opakowaniowych (Polipropylen, 2022).

Opakowania wykonane z politereftalanu etylenu (PET) należą do najczęściej wykorzystywanych przez producentów opakowań z tworzyw sztucznych. Są przezroczyste, bezwonne oraz wykazują wysoką barierowość na gaz. Dodatkowo materiał ten spełnia szereg wymagań, takich jak aspekty estetyczne (wysoka transparentność i połysk), stabilność zachowania barwy, dobra odporność mechaniczna, termiczna oraz chemiczna, niski koszt produkcji, stabilność podczas krótkiego przechowywania oraz łatwość recyklingu (Khaneghah et al., 2012). Z racji zwiększającej się ceny polipropylenu, wybór politereftalanu etylenu skutkuje niższą ceną za opakowanie margaryny (PP prices rise, 2022).

Kubki wykonane z aluminium zabezpieczają produkt przed wilgocią, dostępem powietrza, promieniowaniem UV i mikroorganizmów. Aluminium jest nietoksyczne i nie wpływa na smak produktu, ponadto jest podatne na tłoczenie i cechuje się wysoką przewodnością cieplną, która pozwala na szybsze schłodzenie emulsji. Wadą tego tworzywa jest niska wytrzymałość mechaniczna, podatność na korozję w środowisku kwaśnym i w obecności chlorku sodu (Panfil-Kuncewicz et al., 2012).

Spożycie tłuszczów roślinnych charakteryzuje się wysoką konsumpcją. W roku 2019 roczne spożycie tłuszczów roślinnych wynosiło 8,40 kg/osobę, a masła 3,36 kg/osobę. W roku 2020 spożycie tych tłuszczów wynosiło odpowiednio 8,28 kg/osobę i 3,84 kg/osobę (Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 2021).

Obrót towarowy tłuszczami wymaga stosowania odpowiednich opakowań zabezpieczających produkty przed niekorzystnymi zmianami oksydacyjnymi. Wśród wielu proponowanych materiałów opakowaniowych na uwagę zasługuje aluminium oraz politereftalan etylenu.

Celem pracy było określenie dynamiki zmian oksydacyjnych w czasie przechowywania margaryny z dodatkiem estrów steroli roślinnych, przechowywanych w opakowaniach

z aluminium oraz politereftalanu etylenu, w warunkach chłodniczych (5°C±0,5). Przechowywanie margaryny miało na celu symulowanie warunków, w jakich tłuszcze do smarowania pieczywa są przechowywane w gospodarstwach domowych – w lodówce.

## 2. Materiał doświadczalny i metodyka badań

Materiał badawczy stanowiła margaryna miękka „Flora Original" (producent Unilever Polska Sp. z o.o.) przeznaczona do smarowania pieczywa.

Margaryna „Flora Original" według informacji podanych przez producenta na opakowaniu, zawiera następujące składniki: wodę, oleje roślinne, emulgatory (mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych, lecytyny), substancję konserwującą (sorbinian potasu), maślankę w proszku, aromaty, regulator kwasowości (kwas cytrynowy), barwnik (karoteny), witaminy A, E, D3, sól (0,33%).

Tłuszcze roślinne stanowią 45g/100 g produktu, w tym kwasy tłuszczowe:

- nasycone 9 g,
- mononienasycone 11 g,
- polinienasycone 24 g, w tym 18 g kwasy omega-6, 5,9 g kwasy omega-3, poniżej 0,5 g izomerów trans.

Badania przechowalnicze margaryny przeprowadzane były w warunkach chłodniczych w temperaturze 5°C±0,5, bez dostępu światła, przez 43 dni. Próbki margaryny „Flora Original" o masie 100 g umieszczono w opakowaniach z aluminium ALU oraz politereftalanu etylenu PET. Jakość margaryny była oceniana co 7 dni, na podstawie oznaczeń liczby nadtlenkowej metodą jodometryczną (PN-ISO 3960:2012). Liczba nadtlenkowa jest podstawowym parametrem w analizie chemicznej emulsji tłuszczowych i jest stosowana powszechnie w badaniach (Pomeranz, 2013; O'Brien, 2008).

Margarynę, będącą przedmiotem badań, scharakteryzowano pod względem wartości liczb charakterystycznych – nadtlenkowej (*LN*), kwasowej (*LK*), jodowej (*LI*) oraz profilu kwasów tłuszczowych FA, z uwzględnieniem kwasów tłuszczowych nasyconych SFA, nienasyconych UFA, w tym mononienasyconych MUFA, polinienasyconych PUFA. Początkowe wartości liczb charakterystycznych badanej margaryny wynosiły:

LN = 8,882 mEq $O_2$/kg,

LK = 0,769 mg KOH/g,

LI g = 45,85 g $I_2$/100 g.

Oznaczenie zawartości kwasów tłuszczowych badanej margaryny przeprowadzono metodą chromatografii gazowej GC (PN-EN ISO 12966-1:2015). Analizę kwasów tłuszczowych wykonano na chromatografie gazowym SRI 8610C z kolumną *Restek* RTX-2330 l = 105 m, Ø

= 0,25 mm z detektorem FID z zastosowaniem wodoru jako gazu nośnego. Jako wzorzec zastosowano *Food Industry FAME Mix* firmy Restek, nr kat. 35077 będący mieszaniną 37 estrów metylowych kwasów tłuszczowych. W profilu kwasów tłuszczowych badanej margaryny dominują następujące kwasy: linolowy C 18:2 (cis-9,12) – 42,75% (m/m) i oleinowy C 18:1 (cis-9) – 25,22% (m/m).

Profil kwasów tłuszczowych badanej margaryny przedstawiono w tabeli (Tabela 1).

**Tabela 1.**
*Profil kwasów tłuszczowych margaryny „Flora Original"*

| Stopień nasycenia | Kwasy tłuszczowe | % (m/m) |
|---|---|---|
| SFA | C 8:0 | 0,42 ±0,02 |
| | C 10:0 | 0,40 ±0,02 |
| | C 12:0 | 4,72 ±0,04 |
| | C 14:0 | 1,44 ±0,03 |
| | C 16:0 | 14,63 ±0,4 |
| | C 18:0 | 4,25 ±0,04 |
| MUFA | C 18:1 (cis-9) | 25,22 ±0,50 |
| PUFA | C 18:2 (cis-9,12) | 42,75 ±1,00 |
| | C 18:3 (cis-9,12,15) | 5,86 ±0,04 |
| | C 20:3 (cis-8,11,14) | 0,31 ±0,02 |

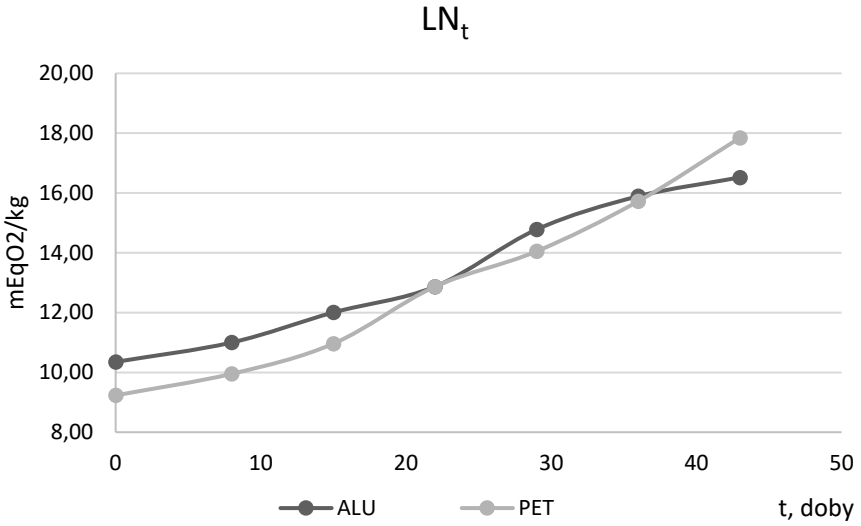
Źródło danych – opracowane własne.

## 3. Zmiany oksydacyjne w margarynie w czasie przechowywania

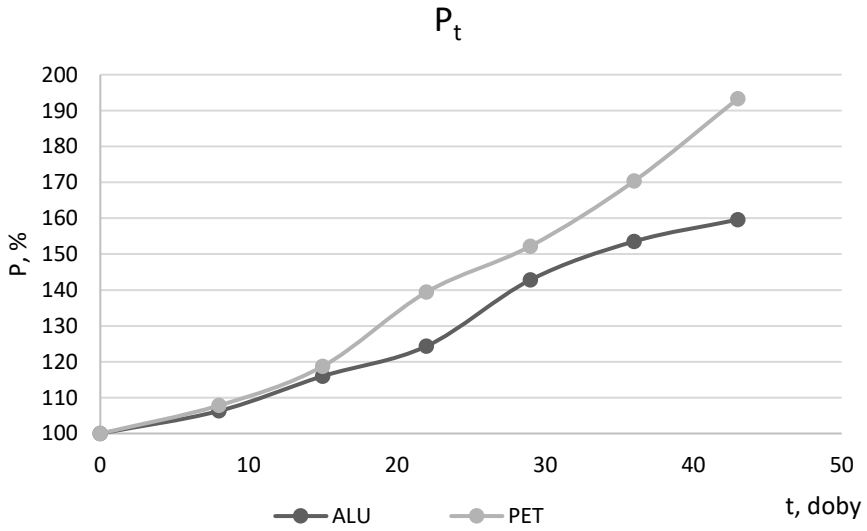
Na rysunku przedstawiono średnie wartości liczby nadtlenkowej $LN_t$ próbek margaryny „Flora Original", przechowywanej w opakowaniach: aluminiowym (ALU) oraz z politereftalanu etylenu (PET), wyrażonej w mEq$O_2$/kg oraz procentowe wartości zmian tego parametru $P_t$, % (Rysunek 1). Dane empiryczne stanowią średnią z trzech wyników uzyskanych z miareczkowania jodometrycznego próbek margaryny w czasie przechowywania.

Wartości początkowe liczby nadtlenkowej $LN_t$ dla czasu t = 0 doby wynosiły: 9,231 mEq $O_2$/kg dla opakowania PET oraz 10,35 mEq $O_2$/kg dla opakowania ALU. Wartości końcowe $LN_t$ po 43 dobach przechowywania wynosiły: 16,52 mEq $O_2$/kg (ALU) i 17,845 mEq $O_2$/kg (PET). Wartości empiryczne liczby nadtlenkowej LNt zostały przeliczone na skalę procentową $P_t$, %. Przyjęto wartość początkową $P_0$ = 100% dla czasu t = 0 doby. Wartości końcowe $P_t$ po 43 dobach przechowywania wynosiły: 159,61% (ALU) i 193,32% (PET). Na rysunku przedstawiono zmiany wartości liczby nadtlenkowej LNt w czasie przechowywania „Flory Original" w opakowaniach ALU, PET, w temperaturze 5°C, bez dostępu światła (Rysunek 1).

Zaobserwowano wzrost wartości liczby nadtlenkowej oraz wzrost szybkości badanych procesów w czasie według krzywych typu *aw* akceleracyjno– wzrostowego (Kondratowicz-Pietruszka, 2013). Wykresy danych empirycznych w skali względnej (procentowej) mają także postać krzywych typu *aw* (Rysunek 2).




**Rysunek 1.** Zmiany wartości liczby nadtlenkowej $LN_t$ margaryny w czasie przechowywania w opakowaniach ALU, PET
Źródło danych – opracowane własne.




**Rysunek 2.** Zmiany procentowej wartości liczby nadtlenkowej *P* margaryny w czasie przechowywania w opakowaniach ALU, PET
Źródło danych – opracowane własne.

### 3.1 Analiza kinetyczna danych doświadczalnych

Zmiany liczby nadtlenkowej w czasie miały charakter krzywych akceleracyjnych rosnących typu aw, czyli zmiany parametru oraz dynamika szybkości rosły w czasie. Zbiór danych doświadczalnych opisano odpowiednimi funkcjami kinetycznymi. Pozwoliło to na porównanie

procesów utleniania „Flory Original”. Oceny dynamiki procesów dokonano na podstawie danych empirycznych liczby nadtlenkowej w skali względnej ($P_t$, %). Wyznaczono rzędy procesów $n$ oraz obliczono stałe szybkości $k_n$ ($\%^{n-1} \cdot t^{-1}$) i szybkość V ($\% \cdot t^{-1}$) analizowanych procesów. Wykorzystano model kinetyczny dla rosnących wartości badanego parametru (wartości miary) w czasie $P_t$ oraz wzrastającej szybkości procesów. Model ma postać:

$$\hat{} = [ {}^{1-}_{0} - ( - 1) ]^{\frac{1}{1-}} \quad (1)$$

Stałą szybkości $k_n$ obliczono ze wzoru:

$$= \frac{1}{( - 1)} [ {}^{1-}_{0} - {}^{1-} ] \quad [\%^{1-n} \cdot t^{-1}] \quad (2)$$

gdzie: $k_n$ – stała szybkości, $[J^{1-n} \cdot t^{-1}]$;

$n$ – rząd reakcji, n > 0;

$\hat{}$ – teoretyczna wartość miary (parametru) w czasie t,

$P_0$ – początkowa wartość miary (parametru), $t$ = 0.

W celu wyznaczenia parametrów kinetycznych, czyli rzędu procesu $n$ oraz stałej szybkości $k_n$ wykorzystano metodę podstawiania do wzoru (Kondratowicz-Pietruszka, 2013). W tabeli przedstawiono wyniki analizy kinetycznej procesów ALU i PET w skali procentowej $P_t$ (Tabela 2). W tabeli tej podano rzędy procesów $n$, średnie wartości stałych szybkości $\bar{}$ , modele do obliczenia wartości teoretycznych $\hat{}_t$, szybkości procesów $V(P_t)$ oraz średnie odchylenie $e_m$ wartości teoretycznych od doświadczalnych. Odchylenia wartości doświadczalnych od wartości teoretycznych jako błąd bezwzględny $e_m$, % obliczono ze wzoru:

$$= \frac{| - |}{\hat{}} \cdot 1\,0\,0\,\% \quad (3)$$

Rzędy procesów ALU oraz PET w skali procentowej $P_t$ wynoszą $n$ = 2,1 *aw*, natomiast średnie odchylenia wartości teoretycznych od doświadczalnych wynoszą $e_m$ < 2%, co świadczy o bardzo wysokiej dokładności dopasowania modeli kinetycznych.

**Tabela 2**
*Parametry kinetyczne procesów ALU, PET*

| Parametry kinetyczne | ALU | PET |
|---|---|---|
| *n* | 2,1 | 2,1 |
| $\%^{-1,1}$ $^{-1}$ | $_{2,1} = 5,6\ 6\ 7\ 1\ 0^{5}$ | $_{2,1} = 6,9\ 6\ 1\ 1\ 0^{5}$ |
| $\hat{P}_t$, % | $\hat{} = [6,3\ 0\ 9 \cdot 1\ 6\ 0^{3} - 6,2\ 3\ 3 \cdot 1\ 7\ 0^{5} \cdot ]^{-0,9\ 1}$ | $\hat{} = [6,3\ 1\ 0 \cdot 1\ 0^{3} - 7,6\ 5\ 7 \cdot 1\ 0^{5} \cdot ]^{-0,9\ 1}$ |
| $V(\ )$ $\% \cdot doba^{-1}$ | $V(\ ) = 5,667 \cdot 1\ 0^{5} \cdot {}^{2,1}$ | $V(\ ) = 6,9\ 6\ 1 \cdot 1\ 0^{5} \cdot {}^{2,1}$ |
| $e_m$, % | 1,94 | 1,82 |

Źródło danych – opracowane własne.

### 3.2 Porównanie szybkości procesów

Szybkość wzrostu $V(P_t)$ wartości badanego parametru (miary) w czasie dla analizowanych procesów obliczono ze wzoru:

$$V(\ ) = \quad \cdot \qquad [\% \cdot t^{-1}] \tag{4}$$

Do potwierdzenia typu procesu akceleracyjno-wzrostowego *aw* obliczono przyrosty szybkości $\Delta V(P_t)$.

Wartości przyrostów szybkości $\Delta V(P_t)$ zmieniają się w przedziale:

- 0,153÷0,503 $\% \cdot doba^{-1}$ dla procesu ALU,
- 0,238÷1,210 $\% \cdot doba^{-1}$ dla procesu PET.

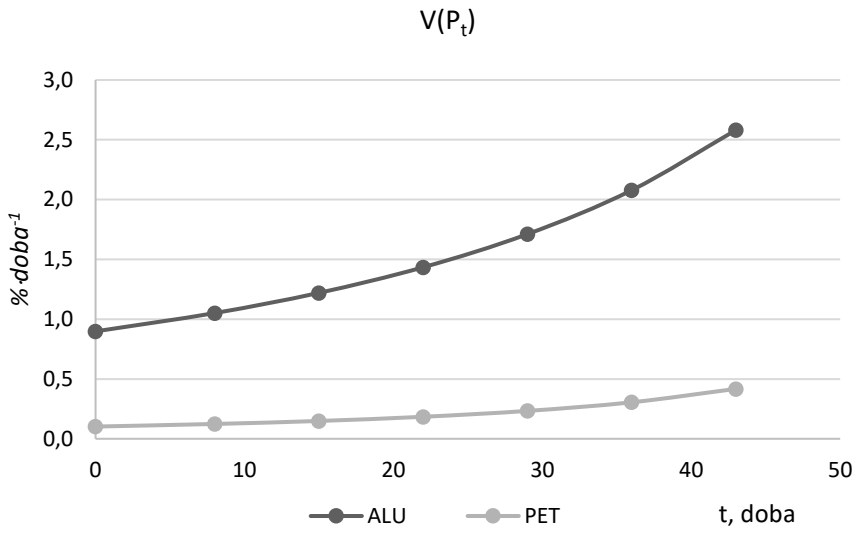
Szybkość procesu wzrosła ponad trzykrotnie (3,29) dla procesu ALU i ponad czterokrotnie (4,09) dla procesu PET. Wzrastające wartości $\Delta V(P_t)$ w funkcji czasu stanowią potwierdzenie zmian wartości liczby nadtlenkowej w analizowanych procesach według krzywej akceleracyjnej rosnącej, typu *aw* (Rysunek 3).

Do porównania szybkości analizowanych procesów *A* (PET) i *B* (ALU), których rzędy są jednakowe $n_A = n_B$ wykorzystuje się stosunek afiniczności , czyli stosunek stałych szybkości $k_A$, $k_B$:

$$K = \frac{}{} = 1,2\ 3 \tag{4}$$

gdzie: $k_A$ – stała szybkości procesu A, $[\%^{1-n} \cdot t^{-1}]$,
$k_B$ – stała szybkości procesu B, $[\%^{1-n} \cdot t^{-1}]$.

Obliczony stosunek stałych szybkości świadczy o tym, że badana margaryna w opakowaniu z politereftalanu etylenu utlenia się 1,23 razy szybciej niż w opakowaniu z aluminium.




**Rysunek 3.** Zmiany szybkości procentowej wartości liczby nadtlenkowej *P* margaryny w czasie przechowywania w opakowaniach ALU, PET
Źródło danych – opracowane własne.

## 4. Podsumowanie

Wartości końcowe liczby nadtlenkowej po 43 dobach przechowywania margaryny w temp. 5°C±0,5, bez dostępu światła wynosiły 16,52 mEq $O_2$/kg w opakowaniu ALU oraz 17,845 mEq $O_2$/kg w opakowaniu PET. Zmiany liczby nadtlenkowej w czasie miały charakter krzywych akceleracyjnych rosnących typu *aw,* czyli zmiany parametru oraz dynamika wzrostu rosły w czasie. Na podstawie przeprowadzonej analizy kinetycznej w wykorzystaniem modeli akceleracyjno-wzrostowych wyznaczono rzędy analizowanych procesów, które wynosiły n = 2,1%$^{-1,1}$·doba$^{-1}$ oraz obliczono średnie stałych szybkości. Błąd bezwzględny dopasowania zastosowanego modelu do danych doświadczalnych nie przekroczył 2 %. Wartości średnich stałych szybkości wykorzystano do obliczenia szybkości utleniania margaryny w badanych opakowaniach. Stosunek afiniczności analizowanych procesów wyniósł 1,23. Oznacza to, że stabilność margaryny „Flora Oryginal" była większa w opakowaniu z aluminium.

## Bibliografia


1. Białek, J., Kondratowicz-Pietruszka, E. (2013), Współczesny rynek tłuszczów ze szczególnym uwzględnieniem obrotu towarowego tłuszczami roślinnymi, *Zeszyty Naukowe* /Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, nr 918, 51-69.
2. Ebnesajjad, S. (2013), Plastic Films in Food Packaging: Materials, *Technology and Application*, Elsevier, Oxford.
3. Khaneghah, M., Shoecibi S., Ameri M. (2012), Effects of storage conditions and PET packaging on quality of edibble oils in Iran, *Advances in Environmental Biology*, 6(2), 691-701.
4. Kondratowicz-Pietruszka, E. (2013), Zmiany jakościowe wybranych olejów roślinnych przechowywanych w warunkach chłodniczych, *Zeszyty Naukowe* /Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, nr 912, 49-72.
5. Krygier, K. (2010), *Współczesna margaryna. Aspekty technologiczne i żywieniowe*, WNT, Warszawa.
6. O'Brien R.D. (2008), *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*, CRC Press.
7. *Nasze produkty* (2022, styczeń 15), https://www.ramamargaryna.pl/produkty.
8. Panfil-Kuncewicz H., Kuncewicz A., Juśkiewicz M. (2012), *Wybrane zagadnienia z opakowalnictwa żywności*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Olsztyńskiego, Olsztyn.
9. Piringer O., Baner A. (2008), *Plastic packaging materials for Food*, John Wiley & Sons.
10. Pomeranz Y. (2013), *Food Analysis: Theory and Practice*, Springer Science & Business Media.
11. *Polipropylen-tworzywo konstrukcyjne w życiu codziennym* (2022, styczeń 20), http://tworzywa.com.pl/.
12. *PP prices rise, solid PS, PET drop* (2022, styczeń 20), http://www.plasticsnews.com/article /20141030 /NEWS.
13. Praca zbiorowa red. Elves B. (2017), *Ullmann's Food and Feed*, Wiley-VCH, 3 Volume Set, Tom 2, Weinheim.
14. *Produkty Flora* (2022, styczeń 15), http://www.flora.pl/produkty/default.aspx.
15. Robertson G.L. (2013), *Food packaging: Principles and Practice*, CRC Press.
16. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej (2021), GUS, Warszawa.
17. Szlezyngier W., Brzozowski Z. (2012), *Tworzywa sztuczne -tworzywa ogólnego zastosowania*, Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów.