

Assessment of the functional properties of PVA film used as packaging material for concentrated detergents

Ocena właściwości funkcjonalnych folii PVA stosowanej jako materiał opakowaniowy skoncentrowanych detergentów



DOI: 10.15199/62.2026.8.9

The break-out and dissolution times in water of the polyvinyl alcohol (PVA) film used as a packaging material for capsules contg. concentrated detergent were studied. The capsules were stored at temp. of 7, 20, and 34°C for 0, 30, 60, 120, and 180 days. Prolonged exposure of the PVA film to higher temp. can alter its functional properties, resulting in a longer dissolution time for the capsules.

Keywords: detergents, PVA film, mechanical properties of PVA

Strategia zrównoważonego rozwoju w przemyśle detergentowym obejmuje inicjatywy wspierające gospodarkę o obiegu zamkniętym oraz zmniejszanie śladu środowiskowego środków czystości i piorących z uwzględnieniem wszystkich faz cyklu życia produktu¹⁾. Jednym z elementów strategii zrównoważonego rozwoju w branży detergentowej staje się opakowanie. Trzy kluczowe obszary wskazane w rozporządzeniu²⁾ dotyczą zmniejszenia ilości tworzyw sztucznych wprowadzonych do obiegu, ponownego ich użycia oraz recyklingu. Przemysł detergentowy jest jednym z segmentów, który podąża w kierunku zrównoważonego rozwoju i rozwija zrównoważone technologie³⁾ oparte m.in. na odpowiednio dobranych surowcach, opakowaniach i odpowiedniej formie produktu. W przypadku

Przedstawiono wyniki badań właściwości funkcjonalnych folii wykonanej z poli(alkoholu winylowego) (PVA) stosowanej jako materiał opakowaniowy kapsulek zawierających skoncentrowany detergent. Badany koncentrat przygotowany zgodnie z trendem *water-less* stanowił mieszaninę związków powierzchniowo czynnych, rozpuszczalników oraz olejków eterycznych. Wyniki badania wykazały, że długotrwała ekspozycja folii PVA stanowiącej otoczkę koncentratu płynu myjąco-czyszczącego w wyższej temperaturze może doprowadzić do zmiany właściwości funkcjonalnych folii, powodując wydłużenie czasu rozpuszczania produktu.

Słowa kluczowe: detergenty, folia PVA, właściwości mechaniczne folii PVA

opakowań działania w kierunku ograniczenia zużycia ropy naftowej i gazu ziemnego do ich produkcji, możliwość ich recyklingu i prawidłowa utylizacja w ramach tworzenia gospodarki o obiegu zamkniętym pozwoli uniknąć potencjalnie negatywnego wpływu przemysłu detergentowego na środowisko. Z przeglądu literatury patentowej⁴⁻⁶⁾ wynika, że wśród biodegradowalnych materiałów opakowaniowych folia wykonana z poli(alkoholu winylowego) (PVA) stanowi interesującą alternatywę dla tworzyw z PET i HDPE. Podstawowym składnikiem folii PVA jest częściowo lub całkowicie zhydrolizowany polimer PVA, będący kopolimerem alkoholu winylowego i octanu winylu. Plastyfikatory, stanowiące 10–25% mas. składu folii PVA, dobierane są zależnie od oczekiwanych właściwości



Mgr Bibianna NOWAK (ORCID: 0009-0007-2973-2933) w roku 1999 ukończyła studia magisterskie na Wydziale Chemicznym Uniwersytetu Opolskiego. Jest kierownikiem laboratorium badawczo-wdrożeniowego w firmie Lakma Strefa sp. z o.o., jednej z czołowych polskich firm zajmujących się produkcją produktów chemii gospodarczej, profesjonalnej i przemysłowej. Zajmuje się przygotowywaniem receptur produktów i wdrażaniem innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Od października 2022 r. jest doktorantką w Szkole Doktorskiej Politechniki Krakowskiej, gdzie realizuje pracę badawczą w ramach VI edycji programu „Doktorat wdrożeniowy”.

*** Adres do korespondencji:**

Lakma Strefa sp. z o.o., ul. Gajowa 7, 43-254 Warszawa, tel.: (32) 435-31-88, e-mail: bibianna.nowak@lakma.com



Dr hab. inż. Elżbieta SIKORA, prof. PK (ORCID: 0000-0003-4867-965X), pracuje na Politechnice Krakowskiej, obecnie na stanowisku profesora uczelni, a od 2021 r. kieruje Katedrą Chemii i Technologii Organicznej na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej. Jej zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia związane z pozyskiwaniem, badaniem właściwości oraz zastosowaniem surowców naturalnego pochodzenia w produktach kosmetycznych i produktach chemii gospodarczej. Realizuje badania dotyczące zjawisk zachodzących w układach wielofazowych: emulsjach, żelach, nośnikach substancji aktywnych, takich jak: liposomy, mikrokapsułki polimerowe czy nanocząstki lipidowe. Jest autorem lub współautorem ponad 150 publikacji oraz 2 monografii naukowych. Wyniki prowadzonych badań są przedmiotem 27 patentów i 16 zgłoszeń patentowych.

**** Adres do korespondencji:**

Katedra Chemii i Technologii Organicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel.: (12) 628-27-41, e-mail: elzbieta.sikora@pk.edu.pl

Table 1. Formulations of concentrated cleaning product

Tabela 1. Skład koncentratu płynów myjąco-czyszczących

Funkcja	Surowiec	Przedział zawartości, % mas.
Rozpuszczalnik	alkohol etylowy alkohol izopropylowy eter <i>n</i> -butylowy glikolu propylenowego eter monobutylowy glikolu etylenowego eter monobutylowy glikolu dietylenowego glikol heksylenowy	34–92
Związek powierzchniowo czynny	oksyetylenowany laurylosiarczan sodu oksyetylenowana sól monoizopropanoloaminowa alkoholu laurylowego laurylosiarczan sodu etoksylogowany alkohol tłuszczowy C12–C14, ramnolipid	3–15
Woda	woda	0–3
Kompozycja zapachowa	kompozycja zapachowa	0,1–0,9
Barwnik	Detercrom Blue SBL	0,05–0,015

folii, w tym pożądanej elastyczności i rozpuszczalności w wodzie⁷⁾. Środki pomocnicze w przypadku zastosowania folii PVA jako materiału opakowaniowego detergentów do prania gwarantują bezpieczeństwo użytkowania produktów zgodnie z rozporządzeniem⁸⁾. Wprowadzenie na rynek konsumencki w 2010 r. ciekłych detergentów piorących w postaci kapsułek do prania w otoczce wytworzonej z PVA dało możliwość racjonalnego użycia produktu, ograniczając przedozowanie, a w efekcie zmniejszenie ilości środków powierzchniowo czynnych wprowadzanych do środowiska. Obecnie folie na bazie PVA są powszechnie stosowane jako materiał opakowaniowy kapsułek z płynnymi detergentami do prania ze względu na ich całkowitą rozpuszczalność w wodzie, odpowiednie właściwości mechaniczne oraz zdolność do biodegradacji w środowisku wodnym. Szczególne znaczenie ma stabilność folii w kontakcie z wysoko skoncentrowanymi formułacjami detergentów oraz kontrolowana kinetyka rozpuszczania w warunkach prania^{9–11)}.

Celem badań była ocena wpływu temperatury oraz czasu przechowywania koncentratu w kapsułkach wykonanych z folii PVA na stabilność folii stanowiącej otoczkę kapsułki.

Część doświadczalna

Materiały

Jako otoczkę kapsułki koncentratu płynu myjąco-czyszczącego wykorzystano folię na bazie PVA o grubości 76 μm . Szczegółowe informacje dotyczące pochodzenia i charakterystyki materiału objęte są klauzulą poufności. Koncentrat płynu stanowił mie-

szaninę związków powierzchniowo czynnych (ZPCz) i rozpuszczalników. Zawierał barwnik, kompozycję zapachową oraz niewielką ilość wody (< 3% mas.). W tabeli 1 przedstawiono receptury koncentratów płynu myjąco-czyszczącego. Jako rozpuszczalnik zastosowano mieszaninę eteru *n*-butylowego glikolu propylenowego (dostawca Donauchem Polska), eteru monobutylowego glikolu dietylenowego (dostawca Oqema sp. z o.o.) oraz alkoholu etylowego. Surowce te charakteryzują się bardzo dobrą rozpuszczalnością w wodzie i właściwościami odtłuszczającymi. Z grupy dostępnych związków powierzchniowo czynnych zastosowano surfaktanty o charakterze anionowym i niejonowym o wysokiej koncentracji substancji aktywnej w celu ograniczenia zawartości wody w finalnej recepturze produktu. Jako główny składnik myjący zastosowano sól monoizopropanoloaminową alkoholu laurylowego oksyetylowaną tlenkiem etylenu (producent PCC Exsol SA). Surowiec stanowił roztwór surfaktantu (82–88%) w glikolu propylenowym, co znacznie ograniczyło udział wody w recepturze koncentratu płynu myjąco-czyszczącego. Oprócz wymienionych ZPCz w badaniach uwzględniono również laurylosiarczan sodu (producent PCC Exsol SA), oksyetylenowany laurylosiarczan sodu (producent PCC Exsol SA), etoksylogowany alkohol tłuszczowy C12–C14 (producent PCC Exsol SA) oraz ramnolipid (producent Evonik Industries AG).

Metodyka badań

Jako kluczowe parametry kapsułek badano właściwości rozpuszczania folii PVA, określając czas jej rozerwania oraz całkowitego rozpuszczenia w wodzie o zadanej temperaturze. Mierzono czas, po którym folia PVA stanowiąca otoczkę kapsułki z koncentratem płynu myjąco-czyszczącego, zanurzona w wodzie o określonej temperaturze, ulega rozerwaniu oraz całkowitemu rozpuszczeniu. Za czas rozerwania folii PVA przyjęto moment wypływu koncentratu z otoczki, natomiast za czas całkowitego rozpuszczenia folii PVA przyjęto czas, po którym w zlewce (zawierającej wodę) nie obserwowano fragmentów folii PVA większych niż 1 mm. W badaniach zastosowano wodę wodociągową i wodę demineralizowaną (otrzymaną w procesie uzdatniania z zastosowaniem odwróconej osmozy (RO)). Parametry stosowanej wody przedstawiono w tabeli 2. Twardość wody wyznaczono metodą kompleksometrycznego miareczkowania wapnia i magnezu roztworem soli dwusodowej EDTA zgodnie z normą¹²⁾.

Table 2. Physicochemical parameters of tap water and (RO) water

Tabela 2. Parametry fizykochemiczne wody wodociągowej i wody (RO), ($\pm$ SD), $n = 3$

	Woda	Woda wodociągowa	Woda (RO)
Parametr			
pH		6,83 $\pm$ 0,01	6,71 $\pm$ 0,01
Twardość wody ($^{\circ}\text{dH}$)		14,53 $\pm$ 0,06	0

Procedura pomiaru obejmowała napełnienie zlewki szklanej o pojemności 600 mL wodą o temp. $20^{\circ}\text{C}\pm 1$. Zlewkę umieszczono na mieszadle magnetycznym SLHS-230 i po ustabilizowaniu wiru wody do połowy głębokości zlewki umieszczono w niej kapsułkę folii PVA zawierającą koncentrat płynu myjąco-czyszczącego. Po zanurzeniu kapsułki rozpoczynano pomiar czasu za pomocą sekundomierza mechanicznego TFA 381022. Pierwszy odczyt wykonano w momencie przerwania folii PVA i uwolnienia się koncentratu płynu myjąco-czyszczącego do wody. Pomiar kontynuowano aż do momentu, kiedy w zlewce pomiarowej nie obserwowano kawałków folii PVA większych niż 1 mm. Moment ten przyjęto jako czas całkowitego rozpuszczenia folii.

Pomiar czasu rozerwania i całkowitego rozpuszczenia folii wykonano po 1, 2, 3 i 6 miesiącach przechowywania w kontrolowanych warunkach temperaturowych ($T = 7, 20$ i 34°C). Każdy pomiar wykonano 3 razy, a podany wynik jest wartością średnią.

Wyniki badań i ich omówienie

Celem badania była ocena wpływu temperatury i czasu przechowywania koncentratu na stabilność i właściwości funkcjonalne folii PVA zastosowanej jako otoczka kapsułek z koncentratem płynu myjąco-czyszczącego.

Na rys. 1–4 zestawiono wyniki czasu rozerwania i całkowitego rozpuszczenia folii PVA wykorzystanej jako

otoczka koncentratu płynu myjąco-czyszczącego. Wynika z nich, że przechowywanie koncentratów myjąco-czyszczących w otoczce wykonanej z folii PVA w temp. 34°C wydłuża całkowity czas rozpuszczenia folii w porównaniu z koncentratami myjąco-czyszczącymi w otoczce wykonanej z PVA przechowywanymi w temp. 7 i 20°C . Wydłużony czas rozpuszczania folii PVA przechowywanej w 34°C może być związany ze zmianami właściwości strukturalnych wynikających z tzw. starzenia fizycznego folii¹³. Podwyższona temperatura sprzyja reorganizacji łańcuchów polimerowych i wzrostowi stopnia krystaliczności, co ogranicza penetrację wody do materiału i wydłuża czas jego rozpuszczania. W dostępnej literaturze^{14–16} wpływ temperatury na właściwości folii PVA analizowany był najczęściej w warunkach przyspieszonego starzenia lub prowadzony w temp. 40 i 60°C . Zastosowana w badaniu temperatura (34°C) była niższa niż temperatury typowo wykorzystywane w badaniach degradacji termicznej, stąd obserwowane zmiany czasu rozpuszczania folii mogą być interpretowane jako efekt długotrwałego starzenia termicznego zachodzącego podczas przechowywania. Opisany w badaniach¹⁴ mechanizm starzenia termicznego materiałów na bazie alkoholu poliwinylowego prowadzi w pierwszym etapie do redukcji wody wolnej, a następnie do ubytku wody strukturalnie związanej. W wyższej temperaturze następuje utrata wody działającej jako plastyfikator oraz intensyfikacja wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych, co ogranicza dostępność wody do rozpuszczenia struktury materiału¹⁴. Zaobserwowany wzrost czasu rozpuszczalności folii PVA z kon-

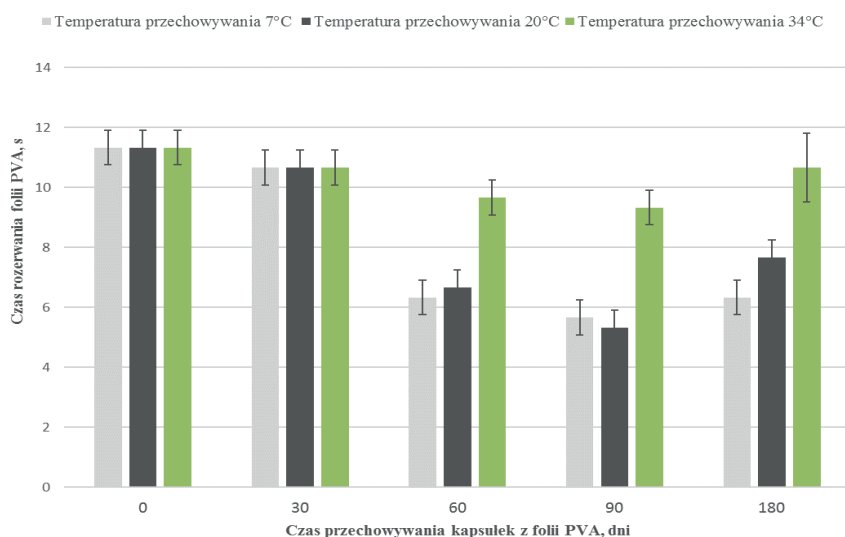


Fig. 1. The break-up time of PVA film in tap water depending on the time and temperature of storage of detergent capsules ($T_{\text{tap water}} = 20^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{dH}_{\text{tap water}} = 14.53\pm 0.06$; $\text{pH}_{\text{tap water}} = 6.83\pm 0.01$)

Rys. 1. Czas rozerwania folii PVA w wodzie wodociągowej w zależności od czasu i temperatury przechowywania kapsulek z detergentem ($T_{\text{woda wodociągowa}} = 20^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{dH}_{\text{woda wodociągowa}} = 14,53\pm 0,06$; $\text{pH}_{\text{woda wodociągowa}} = 6,83\pm 0,01$)

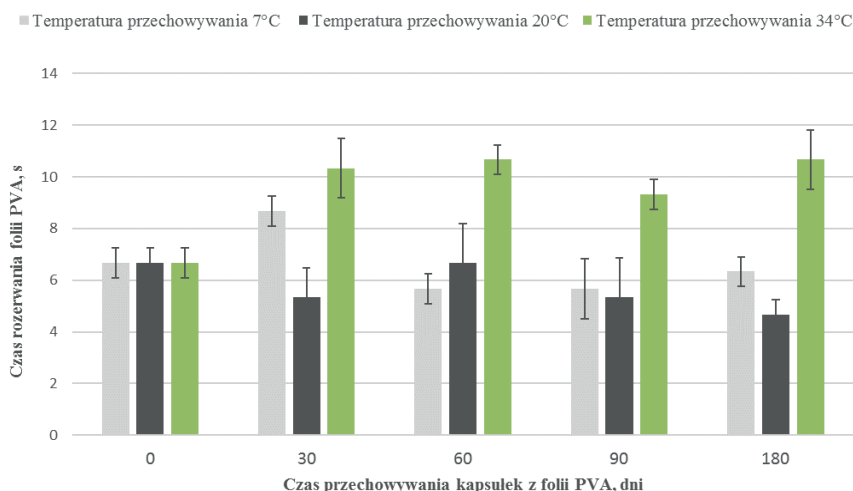


Fig. 2. The break-up time of PVA film in (RO) water depending on the time and temperature of storage of detergent capsules ($T_{\text{water(RO)}} = 20^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{dH}_{\text{water(RO)}} = 0$; $\text{pH}_{\text{water(RO)}} = 6.71\pm 0.01$)

Rys. 2. Czas rozerwania folii PVA w wodzie (RO) w zależności od czasu i temperatury przechowywania kapsulek z detergentem ($T_{\text{wody(RO)}} = 20^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{dH}_{\text{wody(RO)}} = 0$; $\text{pH}_{\text{wody(RO)}} = 6,71\pm 0,01$)

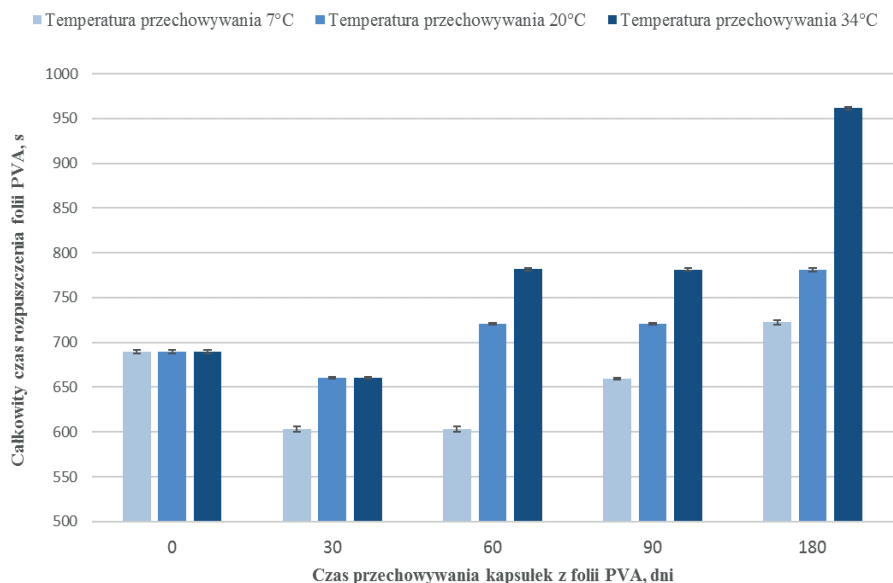


Fig. 3. Total dissolution time of PVA film in tap water depending on the time and temperature of detergent capsule storage ($T_{\text{tap water}} = 20^\circ\text{C}$; $^{\circ}\text{dH}_{\text{tap water}} = 14.53 \pm 0.06$; $\text{pH}_{\text{tap water}} = 6.83 \pm 0.01$)

Rys. 3. Całkowity czas rozpuszczania folii PVA w wodzie wodociągowej w zależności od czasu i temperatury przechowywania kapsulek z detergentem ($T_{\text{woda wodociągowa}} = 20^\circ\text{C}$; $^{\circ}\text{dH}_{\text{woda wodociągowa}} = 14,53 \pm 0,06$; $\text{pH}_{\text{woda wodociągowa}} = 6,83 \pm 0,01$)

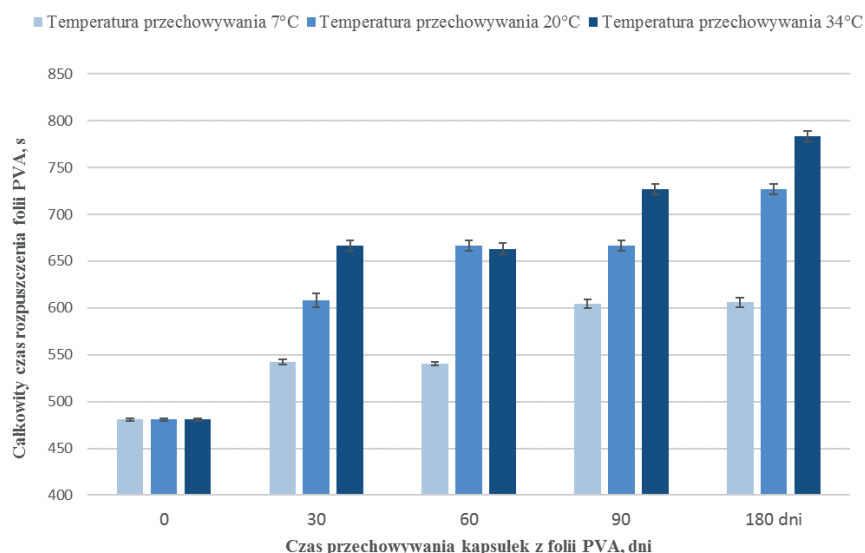


Fig. 4. Total dissolution time of PVA film in (RO) water depending on the time and temperature of detergent capsule storage ($T_{\text{water(RO)}} = 20^\circ\text{C}$; $\text{dH}_{\text{water(RO)}} = 0$; $\text{pH}_{\text{water(RO)}} = 6.71 \pm 0.01$)

Rys. 4. Całkowity czas rozpuszczania folii PVA w wodzie (RO) w zależności od czasu i temperatury przechowywania kapsulek z detergentem ($T_{\text{wody(RO)}} = 20^\circ\text{C}$; $\text{dH}_{\text{woda(RO)}} = 0$; $\text{pH}_{\text{woda(RO)}} = 6,71 \pm 0,01$)

centratem płynu myjąco-czyszczącego przechowywanej w temp. 34°C należy interpretować jako efekt starzenia fizycznego folii PVA zachodzącego w podwyższonej temperaturze.

Podsumowanie

Stwierdzono, że długotrwała ekspozycja folii PVA stanowiącej otoczkę koncentratu płynu myjąco-czyszczącego

go na podwyższoną temperaturę może doprowadzić do zmian właściwości funkcjonalnych folii, powodując wydłużenie czasu rozpuszczania produktu. Wyniki badań wskazują, że odpowiednio dobrana temperatura przechowywania kapsulek wykonanych z folii PVA zawierających koncentrat płynu myjąco-czyszczącego pozwala na zachowanie jakości kapsułek i ograniczenie problemu z ich rozpuszczalnością w czasie.

Otrzymano: 29-06-2026

Zrecenzowano: 06-07-2026

Zaakceptowano: 13-07-2026

Opublikowano: 18-08-2026

LITERATURA

- [1] F. Angiulli, S. Nissen, *Chemia Biznes: Rynek Kosmet. Chem. Gospod.* 2020, nr 3, 107.
- [2] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmiany rozporządzenia (UE) 2019/1020 i dyrektywy (UE) 2019/904 oraz uchylecia dyrektywy 94/62/WE, *Dz.U. UE L* z 22.1.2025.
- [3] A. Kaczmarek, *Chemia Biznes: Rynek Kosmet. Chem. Gospod.* 2022, nr 4, 96.
- [4] EP 3443030 (2022).
- [5] EP 3274398 (2021).
- [6] WO 081494 (2018).
- [7] B. Nowak, E. Sikora, *Przem. Chem.* 2023, **102**, nr 10, 1059.
- [8] Rozporządzenie Komisji (UE) 1297/2014 z dnia 5 grudnia 2014 r. dostosowujące do postępu naukowo-technicznego rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, *Dz.U. UE L* 350 z 6.12.2014.
- [9] D. Byrne, G. Boeije, I. Croft, G. Hüttnann, G. Luijkx, F. Meier, Y. Parulekar, G. Stijntjes, *Tenside Surf. Det.* 2021, **58**, 88.
- [10] https://www.detergentseurope.eu/wp-content/uploads/2026/05/Biodegradability-of-Polymers_G.-BattagliarinSETAC-2024-poster-.pdf, dostęp 18.06.2026 r.
- [11] <https://www.cleaninginstitute.org/understanding-products/polyvinyl-alcohol-cleaning-products>, dostęp 18.06.2026 r.
- [12] PN-ISO 6059:1999, *Jakość wody. Oznaczanie sumarycznej zawartości wapnia i magnezu. Metoda miareczkowa z EDTA*.
- [13] <https://www.polyva-pvafilm.com/a-faq-what-are-the-temperature-limits-for-pva-film.html>, dostęp 7.06.2026 r.
- [14] Ch. Chen, X. Liu, J. Wang, H. Guo, Y. Chen, N. Wang, *Polymers* 2024, **16**, 2486.
- [15] C. Tsiopstias, D. Fardis, X. Ntampou, I. Tsivintzelis, C. Panayiotou, *Polymers* 2023, **15**, 1843.
- [16] M.Y. Koo, J.D. Fiske, H. Yang, F. Nikfar, A. Thakur, B. Scheer, M.L. Adams, *AAPS PharmSciTech* 2011, **12**, nr 2, 746.