

Methods to increase foamability in cosmetics

Metody zwiększania pianotwórczości kosmetyków



DOI: 10.15199/62.2025.7.9

A review, with 28 refs., of key strategies for increasing foam formation and foam stability in cosmetic formulations. The effect of salt addn. on lowering the crit. micelle concn. (CMC) of anionic surfactants was presented. The role of thickeners in reducing liq. outflow across plateau boundaries and increasing the viscosity of the continuous phase was discussed. The use of partially hydrophobic powders was also discussed, which, due to the steric barrier adsorbed at the interface, slow down drainage and gas exchange between bubbles. Synergistic interactions of surfactants with polymers, leading to the formation of complexes with increased d. and elasticity of vesicle membranes, were presented. Attention was paid to biocompatible proteins as natural foaming additives, as well as to mixts. of anionic, non-ionic and amphoteric surfactants, which, due to their lower CMC and modified micelle structure, achieve higher foam vol. and stability.

Keywords: foamability, cosmetics, foam formation, foam stability

Przegląd literaturowy dotyczący kluczowych strategii zwiększających pianotwórczość i stabilność piany w formułacjach kosmetycznych. Omówiono wpływ dodatku soli na obniżenie krytycznego stężenia miceli (CMC) w przypadku anionowych surfaktantów oraz tworzenie podwójnej warstwy elektrycznej w błonach pęcherzyków. Przedstawiono rolę środków zagęszczających w ograniczaniu odpływu cieczy przez granice plateau i zwiększaniu lepkości fazy ciągłej, co przekłada się na dłuższe utrzymanie piany. Omówiono zastosowanie częściowo hydrofobowych proszków, które dzięki sterycznej barierze adsorbowanej na granicy faz spowalniają drenaż i wymianę gazu między bąbelkami. Przedstawiono synergiczne oddziaływania surfaktantów z polimerami, prowadzące do tworzenia kompleksów o zwiększonej gęstości i elastyczności błon pęcherzyków. Zwrócono uwagę na biokompatybilne białka jako naturalne dodatki pianotwórcze oraz na mieszanki surfaktantów anionowych, niejonowych i amfoterycznych, które dzięki obniżonemu CMC i zmodyfikowanej strukturze miceli osiągają większą objętość i trwałość piany. Przedstawione metody i zestawienia układów surfaktantowych pozwalają na projektowanie kosmetyków o zoptymalizowanej pianotwórczości i minimalnym potencjale drażniącym.

Słowa kluczowe: pianotwórczość, kosmetyki, strategie zwiększające pianotwórczość, stabilność piany

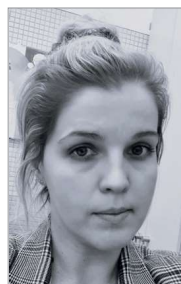
Powstanie wysokiej piany w produktach kosmetycznych jest w większości zjawiskiem bardzo pożądanym przez konsumentów i w niektórych formułach również warunkującym ich prawidłowe działanie¹⁾. Produkty kosmetyczne są mieszaninami różnego typu związków, które wpływają na pianę pozytywnie lub negatywnie. Aby otrzymać formułę wykazującą jak najlepsze parametry piany przy stosunkowo małym potencjale podrażniającym, konieczne jest zastosowanie mieszanin surfaktantów i dodatków zwiększających pianotwórczość produktu i stabilność piany (rysunek)²⁾.

Dodatek soli

Udowodniono, że dodatek chlorku sodu znacząco zmniejsza krytyczne stężenie miceli (CMC) anionowego surfaktantu sulfonianu α -olefiny oraz laurylosiarczanu sodu (SLS). Zmniejszenie CMC i napięcia powierzchniowego roztworu surfaktantu wynika z faktu, że sól sprzyja przejściu cząsteczek surfaktantu w kierunku granicy faz gaz-ciecz z tendencją do zmniejszenia odpychania elektrostatycznego między naładowanymi głowami cząste-



Mgr Olga TRACZYK-TRUBA (ORCID: 0000-0003-0540-0604) w roku 2019 ukończyła studia na Wydziale Farmaceutycznym Uniwersytetu Medycznego w Warszawie. Obecnie jest doktorantką na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Specjalność – preparatyka kosmetyczna, produkty myjące i pielęgnacyjne, badania kosmetyków *in vitro* i *in vivo*, metody analizy pianotwórczości i stabilności piany, wdrażanie na rynek innowacyjnych produktów kosmetycznych.



Dr Marta MARZEC (ORCID: 0000-0003-1482-8274) w roku 2015 uzyskała stopień magistra, a w 2019 r. stopień doktora na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jest adiunktem w Zakładzie Chemii Stosowanej tej samej uczelni. Specjalność – preparatyka i badania fizykochemiczne produktów kosmetycznych z zakresu kosmetyki białej, nowoczesne substancje czynne w produktach kosmetycznych, badania aplikacyjno-aparaturowe kosmetyków, synteza nanocząstek lipidowych, z naciskiem na ich zastosowanie w chemii kosmetycznej.

* Adres do korespondencji:

Zakład Chemii Stosowanej, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań, e-mail: olgtra@amu.edu.pl; nowakiza@amu.edu.pl

czek surfaktantu³⁾. Takie zmniejszenie siły odpychającej wzmacnia siłę hydrofobowego oddziaływania monomerów środka powierzchniowo czynnego, co powoduje tworzenie się miceli w mniejszych stężeniach surfaktantu i w konsekwencji zmniejsza CMC⁴⁾. Bezpośredni wpływ dodatku soli na działanie pianotwórcze surfaktantów i stabilność piany powstałej przy ich udziale nie jest jednoznaczny. Niektóre badania stwierdzają pozytywny wpływ zwiększonego stężenia soli na pianę powstałą w roztworze SLS, na oba badane parametry^{5, 6)}. Inne podkreślają jej negatywny wpływ na pianotwórczość w związku z redukcją oddziaływań odpychających w ściankach bąbelków⁷⁾. Majeed i współpr.³⁾ przetestowali wpływ dodatku różnego stężenia soli na działanie AOS (α -olefinosulfonian sodu) w stężeniu powyżej CMC i udowodnili, że pianotwórczość oraz stabilność piany zwiększają się wraz ze wzrostem stężenia NaCl. Zjawisko to tłumaczy się powstaniem podwójnej warstwy elektrycznej wewnątrz błony bąbelków, która zabezpiecza je przed koalescencją. Taka ciasno upakowana błona tworzy mniejsze i bardziej trwałe bąble. Jednakże w tym samym badaniu udowodniono, że w stężeniu poniżej CMC dodatek chlorku sodu wpływa negatywnie na pianę. Ze względu na tworzenie się niepożądanych agregatów o barwie białej w 2-proc. roztworze SLS, maksymalny dodatek NaCl wyznaczono na 6%. Takie stężenie zwiększy znacząco lepkość roztworu, zmniejszy się średni rozmiar bąbli i gęstość piany oraz odpływ piany. Podobny efekt zapewnił dodatek węglanu sodu (8%). Raj i współpr.⁸⁾ pokazali, że efekt ten wzmacniany jest przez obecność jonów sodowych z następujących związków: $\text{NaOH} > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaCl}$. Ponadto Jiang i współpr.⁹⁾ zbadali wpływ chlorku potasu i chlorku wapnia na stabilność piany powstałej w roztworze SLS. Kryształy $\text{Ca}(\text{LS})_2$ (laurylosiarczan wapnia) i KLS (laurylosiarczan potasu) utworzone w roztworze na granicach *plateau* fizycznie blokowały odpływ płynu z piany, zwiększając jej trwałość. Zaobserwowano również poprawę pianotwórczości.

Środki zwiększające lepkość

Roztwory o małym napięciu powierzchniowym i małej lepkości są z reguły uważane za łatwiej pieniące się, natomiast płyny o dużej lepkości i elastyczności powierzchniowej za dłużej utrzymujące stabilną pianę¹⁰⁾.



Prof. dr hab. Izabela NOWAK (ORCID: 0000-0002-1113-9011) w roku 1997 uzyskała stopień doktora, a w 2008 r. stopień doktora habilitowanego na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Była stypendystką Fundacji Fulbrighta oraz Kościuszkowskiej. W 2014 r. otrzymała nominację profesorską. Od 2009 r. jest kierownikiem Zakładu Chemii Stosowanej na Wydziale Chemii UAM. W latach 2019–2024 pełniła funkcję prezesa ZG PTChem. Specjalność – synteza i modyfikacja nowych uporządkowanych mezoporowatych materiałów, synteza wysokowartościowych i masowych chemikaliów z użyciem heterogenicznych katalizatorów, w tym z użyciem biomasy, nowatorskie metody analityczne w zakresie chemii kosmetycznej, farmaceutycznej i stosowanej, nowoczesne strategie preparatyki i badania kosmetyków oraz kosmeceutyków.

Guma ksantanowa, stosowana powszechnie jako zagęstnik w przemyśle kosmetycznym i spożywczym¹¹⁾, w wielu badaniach wykazała swoje właściwości poprawiające stabilność piany. Raj i współpr.⁸⁾ udowodnili, że dodatek tego środka zwiększającego lepkość zwiększa znacząco zarówno gęstość piany, jak i poprawia jej trwałość. Guma ksantanowa ogranicza odpływ płynu przez granice *plateau*, zwiększając lepkość formuły. Najlepsze właściwości wykazał dodatek 0,25% mas. gumy ksantanowej do roztworu SLS. Ten efekt jest tłumaczony powstaniem mniejszych bąbelków piany w połączeniu ze zwiększeniem grubości lameli. Jednakże do otrzymania piany w takim roztworze potrzebna jest większa siła niż w czystym roztworze SLS.

Erasov i współpr.¹²⁾ udowodnili, że dodatek bentonitu sodowego znacząco poprawił działanie gumy ksantanowej w stabilizacji piany poprzez utworzenie dużej liczby artefaktów w filmie międzyfazowym, zapobiegających odpływowi płynu. Dodatek karboksymetylocelulozy w stężeniu 0,1–0,3% mas. zwiększył stabilność piany roztworu SLS bez wpływu na jego pianotwórczość¹³⁾.

Hydrofobowe proszki

W ciągu ostatnich 2 dekad naukowcy zaczęli badać zastosowanie częściowo hydrofobowych stałych cząstek do stabilizacji piany ze względu na ich zdolność do silnej adsorpcji na granicy faz powietrze-ciecz, sterycznie utrudniającej starzenie się piany, a także spowalniającej drenaż roztworu poprzez struktury w fazie ciągłej. Badano zależność tych właściwości od budowy cząstek i ich różnej amfifilowości zależnej od procentowej zawartości grup SiOH na ich powierzchni. Piany nie tworzy się z cząstek hydrofilowych (70% SiOH) lub bardzo hydrofobowych (14% SiOH, suchy proszek pozostaje na powierzchni wody), ale zdolność pienienia wzrasta stopniowo w przypadku cząstek o pośredniej hydrofobowości. Piany te zawierały ok. 30% wody po uformowaniu (piany mokre) i były bardzo stabilne do rozpadu. Cząstki o pośredniej hydrofobowości działają poprzez tworzenie ściśle upakowanych warstw adsorbowanych na granicy faz, co wpływa na drastyczne spowalnianie lub całkowite zatrzymanie transferu gazu między pęcherzykami powietrza¹⁴⁾.

Polimery

Niektóre polimery w połączeniu z surfaktantami tworzą bardziej stabilne piany. Ich cząstki adsorbują podobnie jak surfaktant na granicy faz, ochraniając ją przed niekorzystnym oddziaływaniem zewnętrznym i wewnętrznym. Większość polimerów zwiększa również lepkość formuły, co sprawia, że działają podobnie do wyżej opisanych składników o takim działaniu. Gdy doda się różnego rodzaju polimery do roztworu surfaktantu, to można zaobserwować powstanie kompleksów, których specyfika wpływa na właściwości roztworu i piany. Oddziaływania między środkiem powierzchniowo czynnym a polimerem mogą być

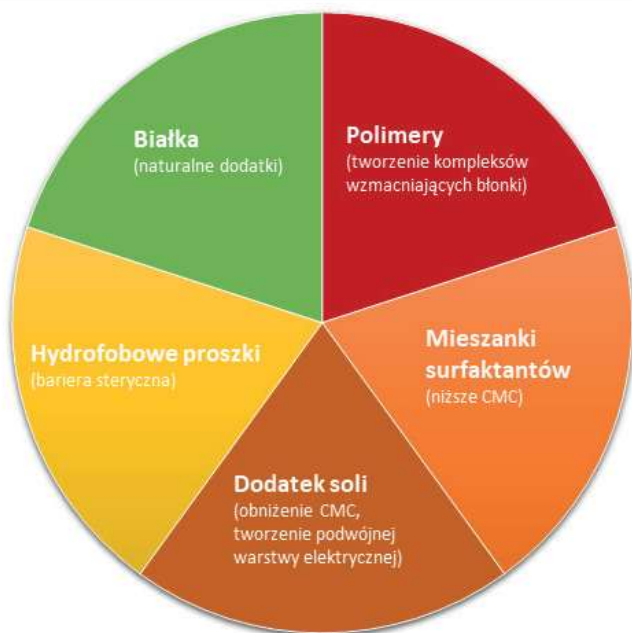


Figure. Division of foaming additives in cosmetics

Rysunek. Podział dodatków zwiększających pianotwórczość w kosmetykach

dwojakie. Gdy jest to słabe oddziaływanie, tak jak w przypadku niejonowych polimerów i naładowanych cząstek surfaktantu (połączenie SLS i PNVF (poli(*N*-winyloformamid)) lub tak samo naładowanych cząstek, czyli bromku dodecylotrimetyloamoniowego z PVAm (poliwinyloamina), to zwiększa się pianotwórczość i stabilność piany w porównaniu z roztworami pojedynczych komponentów. Związki o przeciwnych ładunkach, charakteryzujące się silniejszym oddziaływaniem, negatywnie wpływały na tworzenie się piany, ale dobrze wpływały na jej trwałość. Synergia działania słabych połączeń surfaktant-polimer prawdopodobnie polega na przyspieszeniu adsorpcji surfaktantu, gdy układ jest w stanie pierwotnego spieniania lub gdy działają na niego czynniki destabilizujące. Na poprawę parametrów piany może również mieć wpływ odpychanie steryczne, powstające przy zastosowaniu mieszaniny związków, zapobiegające koalescencji bąbli. Przy silnych oddziaływaniach między związkami podczas tworzenia piany część surfaktantu jest niedostępna, ponieważ jest związana z polimerem w roztworze, natomiast ścianki wytworzonych bąbli są znacznie gęściej upakowane i lepiej chronione przez powstały kompleks, co zwiększa stabilność układu¹⁵⁾.

Białka

Białka są dobrym dodatkiem do kosmetyków ze względu na swoją biokompatybilność, a ich właściwości pianotwórcze są szeroko poznane szczególnie w przemyśle spożywczym¹⁶⁾. Sprawdzono połączenie białka powierzchniowo czynnego o nazwie DAMP4 (surfaktant bazujący na białkach z *E. coli*) z SLS. Wyniki testu pienienia wykazały, że niewielka ilość DAMP4 znacząco poprawiła wydajność spieniania SLS przy małym stężeniu białka (5 μ M).

Dynamiczne pomiary napięcia międzyfazowego zilustrowały, że obecność niewielkiej ilości SLS poprawiła kinetykę adsorpcji DAMP4, podobną do zachowania mieszanego układu SDS i polietylenoiminy¹⁷⁾.

Mieszanki surfaktantów

Mieszane systemy surfaktantowe zwykle prezentują lepsze parametry piany niż roztwory pojedynczych środków powierzchniowo czynnych¹⁸⁾. Często wykazują synergizm działania i mogą tworzyć struktury, takie jak pęcherzyki lub prętopodobne micelle, które lepiej stabilizują pianę¹⁹⁾. Te drugie są charakterystyczne dla mieszanin surfaktantów anionowych, takich jak SLS, z amfoterycznymi, których przedstawicielem jest kokamidopropylbetaina (CAPB). Takie połączenia wykazują zmniejszone CMC dzięki silnemu wzajemnemu przyciąganiu molekuł obydwu typów surfaktantów. Powoduje to zmniejszenie potencjału drażniącego, co jest istotnym parametrem w tworzeniu produktów kosmetycznych. Dodatkowo zastosowane razem tworzą większą pianę i zapewniają lepsze reologiczne właściwości formuły¹⁹⁾. Aby uzyskać najlepszą pianę, alkanoloamidy i betainy są często dodawane do głównego anionowego środka powierzchniowo czynnego w stosunku 10 cz. głównego surfaktantu do 1 cz. kosurfaktantu¹⁾.

Surfaktanty niejonowe w połączeniu z kationowymi lub anionowymi wykazują lepszą pianotwórczość, przy czym efekt ten jest korzystniejszy w przypadku zastosowania mieszaniny tych pierwszych. W roztworze anionowych i kationowych środków powierzchniowo czynnych powstają krystaliczne precypitaty w związku z oddziaływaniami kulombowskim między cząsteczkami o przeciwnym ładunku, co uniemożliwia praktyczne zastosowanie tych połączeń²⁰⁾.

W celu zastąpienia środków powierzchniowo czynnych na bazie ropy naftowej, czyli SLS lub SLES (etoksylowany laurylosiarczan sodu) w formułacjach szamponów, Zhou i współpr.²¹⁾ badali właściwości powierzchniowe i pianotwórcze ramnolipidów i soforolipidów w obecności CAPB. Całkowity procent masowy ramnolipidów lub soforolipidów w mieszaninie środków powierzchniowo czynnych był utrzymywany na stałym poziomie, a zmieniał się jedynie stosunek różnych środków powierzchniowo czynnych. Łącząc pomiary napięcia powierzchniowego i reologii powierzchni, autorzy wykazali, że ramnolipidy dominują w rozmieszczeniu na granicy faz, prowadząc do znacznego spadku napięcia powierzchniowego i wzrostu elastyczności powierzchni, co wpływa na tworzenie gęstszej i bardziej stabilnej piany. Wpływ dodatku ramnolipidów (mieszanin mono-/diramnolipidów) na mieszaninę SLES i CAPB został zbadany przez Xu i współpr.²²⁾. W tym układzie również uzyskano micelle podobne do pręta, ale przy zaledwie 2% mas. ramnolipidów długość konturu długich miceli utworzonych przez SLES/CAPB zmniejszyła się z 445,8 do 88,4 nm, prowadząc do zmniejszenia lepkości. Po dodaniu soli lepkość układu wzrosła przy 4% mas. soli

ze względu na rozmieszczenie ładunków osłaniających między głównymi grupami surfaktantów, co doprowadziło do wydłużenia konturu miceli. Obniżając pH z 7,5 do 6,5, CAPB staje się bardziej kationowy (zwitterionowość jest zmniejszona, ponieważ karboksylan jest mniej zjonizowany), ramnolipidy stają się bardziej niejonowe (karboksylany są mniej zjonizowane), a SLES jest nadal anionowy. Ten spadek pH doprowadził do zwiększenia długości konturu miceli wynikającego z silniejszych oddziaływań między SLES i CAPB promujących lepsze tworzenie splątanych prętopodobnych miceli²¹.

Ponieważ SLS i SLES są składnikami dobrze rozpuszczalnymi w wodzie, szybko zachodzi ich adsorpcja (stąd duża pianotwórczość), ale również desorpcja z monowarstwy na granicy faz. Czyni to ją bardzo podatną na działanie ściskających sił zewnętrznych, co jest wynikiem małej elastyczności filmu. Wpływa to również na odpływ płynu z piany, a wraz z nim surfaktantu, który nie będzie już dostępny do uzupełnienia luk w błonie, co zwiększa ryzyko koalescencji bąbli. Dodanie do roztworów tych anionowych surfaktantów nierozpuszczalnego związku powierzchniowo czynnego, takiego jak alkohol i kwas tłuszczowy, zwiększa lepkość międzyfazowego filmu w pianie powstałej z roztworów tych substancji, poprawiając stabilność piany. Te nierozpuszczalne w wodzie związki transportowane są do granicy faz w micelach i po ich włączeniu do warstwy międzyfazowej zmienia się jej charakter z ruchomej, gdzie szybko następuje adsorpcja i desorpcja, na sztywną. Zbadano to zjawisko w formulacji szamponu opartej na SLES + APG (glukozyd alkilowy) + CAPB poprzez dodanie kwasu laurynowego, co doprowadziło do większej lepkości niż bez tego środka powierzchniowo czynnego i do zmniejszenia drenażu piany²³ oraz wzrostu stabilności piany²⁴. W warunkach zwiększonego stężenia oleju wykazano, że dodanie długołańcuchowych kwasów tłuszczowych jako kosurfaktantów do CAPB zwiększa lepkość powierzchni, co chroni pianę przed odpienianym działaniem oleju²⁵. Można postawić hipotezę, że ten sam mechanizm może zachodzić również w przypadku szamponów ze względu na obecność sebum jako fazy olejowej.

Mitrinova i współpracownicy²⁶ badali różne parametry w celu zrozumienia wpływu kwasów tłuszczowych stosowanych jako kosurfaktanty, o różnej długości łańcucha i różnym stężeniu, na właściwości powierzchniowe i pianotwórcze w mieszaninie opartej na SLES + CAPB. Wykazano, że kwasy tłuszczowe o najmniejszych długościach łańcuchów alkilowych (8 i 10 atomów węgla) powodowały szybszą adsorpcję głównych środków powierzchniowo czynnych (SLES + CAPB) na powierzchni pęcherzyków. Indukowały one również tworzenie się miceli przypominających pręty, co prowadziło do zwiększenia lepkości roztworu o 3 rzędy wielkości w porównaniu z mieszaniną SLES + CAPB bez kwasów tłuszczowych. W przypadku kwasów tłuszczowych o podobnej długości łańcucha jak główny środek powierzchniowo czynny (SLES i CAPB), tzn. o 14 i 16 atomach węgla,

wykazano niewielki wpływ na lepkość objętościową, lecz istotny wzrost lepkości międzyfazowego prowadzący do powstania „sztywnego” interfejsu. W przypadku kwasów tłuszczowych o większej długości łańcucha (18 atomów C) rozpuszczalność w micelach była mniejsza niż w przypadku krótszych łańcuchów alkilowych, w ich obecności zaobserwowano również powierzchniowe przejście fazowe między stanem „mobilnym” a „sztywnym”, ale lepkość warstwy była mniejsza niż w przypadku kwasów tłuszczowych o 14 i 16 atomach węgla²⁷. Przejście powierzchniowe między ruchomymi i sztywnymi granicami faz może być również indukowane przez zwiększenie temperatury i/lub pH z powodu przejścia łańcucha alkilowego ze stanu żelowego do stanu płynnego²⁷.

Innym ciekawym połączeniem jest wykorzystanie klasycznych surfaktantów na bazie łańcucha węglowodorowego z siloksanowymi i silikonowymi środkami powierzchniowo czynnymi. Pod względem aktywności powierzchniowej surfaktant typu Gemini HY4000 na bazie siloksanów z podwójnymi łańcuchami silanowymi wykazuje efekt synergiczny z 4 rodzajami surfaktantów węglowodorowych, chlorkiem cetylotrimetyloamoniowym (CTAC), α -olefinosulfonianem sodu (AOS), dodecylodimetylobetainą (BS-12) i glukozydem alkilowym (APG0180), znacznie zmniejszając napięcie powierzchniowe mieszanego układu. Inny środek powierzchniowo czynny typu Gemini, TEGO4100, wykazuje umiarkowaną wydajność w zmniejszaniu napięcia powierzchniowego roztworu. Dodanie HY-4000 i TEGO4100 zwiększa spienialność dla 4 powyższych rodzajów węglowodorowych środków powierzchniowo czynnych. Pod względem stabilności piany układy mieszane 3 silikonowych środków powierzchniowo czynnych z AOS i APG0180 wykazują lepsze właściwości, z wyjątkiem układu mieszanego HY-4000/APG0180²⁸.

Podsumowanie

Pianotwórczość i stabilność piany w formulacjach kosmetycznych jest cechą pożądaną przez konsumenta. Aby otrzymać formułę produktu kosmetycznego wykazującego jak najlepsze parametry piany przy stosunkowo małym potencjale podrażniającym wymagane jest zastosowanie mieszanin surfaktantów oraz dodatków zwiększających pianotwórczość i stabilność piany, takich jak NaCl, polimery, białka i proszki hydrofobowe. Istotne są także aspekty reologiczne roztworów surfaktantów, analiza ich struktury micelarnej, a także zmiany parametrów międzyfazowych, takich jak napięcie powierzchniowe i lepkość międzyfazowego filmu w pianie.

Otrzymano: 05-07-2025

Zrecenzowano: 08-07-2025

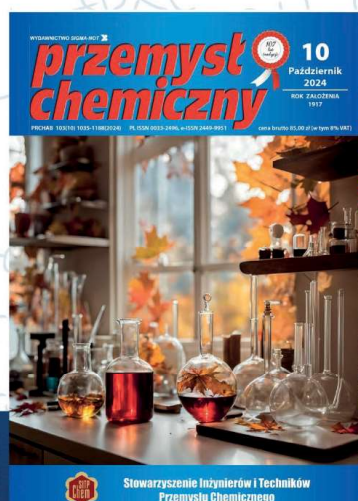
Zaakceptowano: 08-07-2025

Opublikowano: 18-07-2025

LITERATURA

- [1] P.A. Cornwell, *Int. J. Cosmet. Sci.* 2018, **40**, nr 1, 16, <https://doi.org/10.1111/ics.12439>.

- [2] G.S. Luengo, A.L. Fameau, F. Léonforte, A.J. Greaves, *Adv. Colloid Interface Sci.* 2021, **290**, 102383, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102383>.
- [3] T. Majeed, T.I. Sølling, M.S. Kamal, *J. Pet. Sci. Eng.* 2020, **187**, 106871, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106871>.
- [4] M.A. Muhe, R. Junin, *J. Appl. Sci.* 2007, **7**, nr 10, 1362, <https://doi.org/10.3923/jas.2007.1362.1371>.
- [5] M.R. Behera, S.R. Varade, P. Ghosh, P. Paul, A.S. Negi, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2014, **53**, nr 48, 18497, <https://doi.org/10.1021/ie503591v>.
- [6] Q. Xu, M. Nakajima, S. Ichikawa, N. Nakamura, P. Roy, H. Okadome, T. Shiina, *J. Colloid Interface Sci.* 2009, **332**, nr 1, 208, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.12.044>.
- [7] N.T. Su, D. Fornasiero, R. Sedev, J. Ralston, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2005, **263** (1–3 spec. iss.), 233, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.12.060>.
- [8] S. Raj, J.M. Krishnan, K. Ramamurthy, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2022, **643**, 128770, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128770>.
- [9] N. Jiang, X. Yu, Y. Sheng, R. Zong, C. Li, S. Lu, *Chem. Eng. Sci.* 2020, **216**, 115474, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115474>.
- [10] A. Bureiko, A. Trybala, N. Kovalchuk, V. Starov, *Adv. Colloid Interface Sci.* 2015, **222**, 670, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.10.001>.
- [11] A. Becker, F. Katzen, A. Pühler, L. Ielpi, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1998, **50**, nr 2, 145, <https://doi.org/10.1007/s002530051269>.
- [12] V. Erasov, B. Pokidko, M.Y. Pletnev, *J. Dispers. Sci. Technol.* 2020, **41**, nr 6, 787, <https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1611445>.
- [13] S.S. Sahu, I.S. Ranjani Gandhi, A. Kumar, S. Garg, *Adv. Civ. Eng. Mater.* 2021, **10**, nr 1, 74, <https://doi.org/10.1520/ACEM20200083>.
- [14] B.P. Binks, T.S. Horozov, *Angew. Chemie Int. Ed.* 2005, **44**, nr 24, 3722, <https://doi.org/10.1002/anie.200462470>.
- [15] R. Petkova, S. Tcholakova, N.D. Denkov, *Langmuir* 2012, **28**, nr 11, 4996, <https://doi.org/10.1021/la3003096>.
- [16] P.A. Wierenga, H. Gruppen, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2010, **15**, nr 5, 365, <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.05.017>.
- [17] H. Li, A.P. Le Brun, D. Agyei, W. Shen, A.P.J. Middelberg, L. He, *J. Colloid Interface Sci.* 2016, **462**, 56, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.08.068>.
- [18] A. Bera, K. Ojha, A. Mandal, *J. Surfactants Deterg.* 2013, **16**, nr 4, 621, <https://doi.org/10.1007/s11743-012-1422-4>.
- [19] N.C. Christov, N.D. Denkov, P.A. Kralchevsky, *Langmuir* 2004, **20**, nr 3, 565, <https://doi.org/10.1021/la035717p>.
- [20] G. Kume, M. Gallotti, G. Nunes, *J. Surfactants Deterg.* 2008, **11**, nr 1, 1, <https://doi.org/10.1007/s11743-007-1047-1>.
- [21] Y. Zhou, S. Harne, S. Amin, *J. Cosmet. Sci.* 2019, **70**, nr 3, 127.
- [22] L. Xu, S. Amin, *Int. J. Cosmet. Sci.* 2019, **41**, nr 4, 364, <https://doi.org/10.1111/ics.12541>.
- [23] K.G. Marinova, K.T. Naydenova, E.S. Basheva, F. Bauer, J. Tropsch, J. Franke, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2017, **523**, 54, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.03.050>.
- [24] G.S. Luengo, O. Aubrun, F. Restagno, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2025, **77**, 101906, <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2025.101906>.
- [25] Y. Wang, J. Ge, K. Song, G. Zhang, P. Jiang, *J. Dispers. Sci. Technol.* 2017, **38**, nr 10, 1448, <https://doi.org/10.1080/01932691.2016.1251324>.
- [26] Z. Mitrinova, S. Tcholakova, Z. Popova, N. Denkov, B.R. Dasgupta, K.P. Ananthapadmanabhan, *Langmuir* 2013, **29**, nr 26, 8255, <https://doi.org/10.1021/la401291a>.
- [27] Z. Mitrinova, S. Tcholakova, K. Golemanov, N. Denkov, M. Vethamuthu, K.P. Ananthapadmanabhan, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2013, **438**, 186, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.12.011>.
- [28] D. Wang, K. Jiang, D. Kong, J. Zhang, F. Shang, P. Gao, J. Zhang, *J. Mol. Liq.* 2024, **406**, 125140, <https://doi.org/10.1016/j.jmolliq.2024.125140>.



Przemysł Chemiczny jest najstarszym polskim, branżowym czasopismem, wydawanym od 1917 r. Miesięcznik od 1964 r. jest notowany na tzw. liście filadelfijskiej najlepszych naukowych pism świata.

Miesięcznik adresowany jest do **menedżerów krajowego przemysłu chemicznego, inżynierów i technologów w przemyśle, projektantów w biurach projektowych oraz pracowników naukowych w instytutach naukowo-badawczych i na wyższych uczelniach oraz studentów chemii.**

Wszystkie publikowane prace poddawane są recenzji.

dyscypliny powiązane

1. Badania środowiska
2. Bezpieczeństwo chemiczne i ochrona zdrowia
3. Bioinżynieria
4. Biomateriały
5. Biotechnologia
6. Biotechnologia i mikrobiologia stosowana
7. Chemia (ogólnie)
8. Chemia materiałowa
9. Chemia środowiskowa
10. Ekologia
11. Energetyka i inżynieria jądrowa
12. Ekonomia
13. Ekonomia i organizacja przedsiębiorstw
14. Farmakologia, toksykologia i farmaceutyka (różne)
15. Geochemia i petrologia
16. Gospodarka odpadami i utylizacja
17. Inżynieria bezpieczeństwa
18. Inżynieria chemiczna i procesowa
19. Inżynieria energetyczna
20. Inżynieria biomedyczna
21. Inżynieria chemiczna (ogólnie)
22. Inżynieria chemiczna (różnie)
23. Inżynieria przemysłowa
24. Inżynieria środowiskowa
25. Inżynieria materiałowa

26. Inżynieria mechaniczna
27. Marketing
28. Mikrotechnologia i biotechnologia stosowana
29. Modelowanie ekologiczne
30. Multidyscypliny
31. Nauki leśne
32. Ochrona różnorodności biologicznej
33. Ochrona środowiska
34. Organizacja i zarządzanie
35. Polimery i tworzywa sztuczne
36. Powierzchnie, powłoki i warstwy
37. Rachunkowość
38. Rolnictwo i ogrodnictwo
39. Stosunki przemysłowe
40. Strategia i zarządzanie
41. Systemy informacyjne zarządzania
42. Sztuczna inteligencja
43. Technologia paliw
44. Technologia żywności i żywienia
45. Weterynaria
46. Zachowania organizacyjne i zarządzanie zasobami ludzkimi
47. Zanieczyszczenie środowiska
48. Zarządzanie technologią i innowacjami
49. Zastosowania informatyki
50. Zootechnika i rybactwo



www.przemyslchemiczny.com