

ĆWICZENIE 3 - OTRZYMYWANIE PIAN I BADANIE ICH STABILNOŚCI

CEL ĆWICZENIA

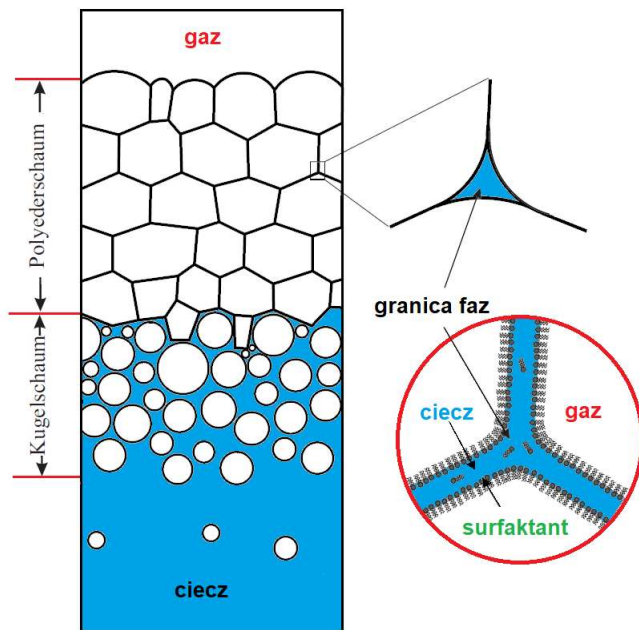
- Celem ćwiczenia jest wytworzenie piany oraz zbadanie wpływu stężenia i rodzaju surfaktantu na stabilność uzyskanej piany w obecności i pod nieobecność inhibitorów powstawania pian.

ZAGADNIENIA

- Definicja piany i jej budowa.
- Podział pian wg różnych kryteriów (ze względu na rodzaj ośrodka rozpraszającego, kształt pęcherzyków, trwałość).
- Powstawanie pian.
- Procesy stabilizacji i destabilizacji piany (rodzaje stabilności pian, czynniki wpływające na stabilność, odczynniki pianotwórcze, procesy powodujące destabilizację piany, inhibitory pian).
- Przykłady praktycznego zastosowania pian w życiu i gospodarce człowieka.

CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Piana to układ koloidalny, w którym ośrodkiem rozpraszającym jest ciecz lub ciało stałe, a fazą rozproszoną gaz. Pęcherzyki gazu, których wielkość zależy od lepkości układu oraz warunków powstawania piany, mają często wielkości charakterystyczne dla układu koloidalnego. Co ciekawe objętość pęcherzyków gazu może stanowić nawet 99% ogólnej objętości piany. Budowę piany przedstawia Rys. 1. Składa się ona z dwóch warstw górnej i dolnej. Warstwa górna to tak zwana piana *polyderschaum*. Jej cechą charakterystyczną jest występowanie gęsto upakowanych wielościennych pęcherzyków, rozdzielonych cienkimi filmami międzypfazowymi. Warstwa dolna to piana *kugelschaum*, w której sferyczne pęcherzyki gazu są luźniej upakowane.



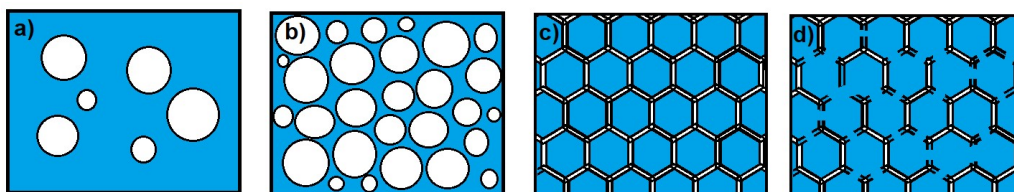
Rys. 1. Budowa piany uwzględniająca frakcję gazową i ciekłą.

Rodzaje pian

Piany można podzielić w oparciu o rozmaite kryteria uwzględniające zarówno rodzaj ośrodka rozpraszającego, trwałość układu, jak również kształt tworzących pianę pęcherzyków. Zostały one omówione poniżej.

Podział pian ze względu na rodzaj ośrodka rozpraszającego:

- piany ciekłe nazywane także mokrymi – to układy, w których fazą rozpraszającą jest ciecz, a rozproszoną gaz (np.: bita śmietana, napowietrzane jogurty, piana na piwie, piana mydlana, pianka do układania włosów, pianka do golenia oraz piana gaśnicza). Ten rodzaj pian ze względu na niewielką stabilność wytwarzany jest najczęściej tuż przed użyciem np. jeśli chodzi o piany stosowane jako kosmetyki (pianki do golenia, pianki do modelowania włosów) bezpośrednio przed ich aplikacją lub też, jeśli mamy do czynienia z pianami spożywczymi (np. bita śmietana), tuż przed konsumpcją. Etapy życia piany ciekłej zostały przedstawione na (Rys. 2).



Rys. 2. Etapy życia piany: a) etap kugelschaum – sferyczne pęcherzyki gazu są luźno upakowane b) stopniowe ociekanie grawitacyjne c) etap polyederschäum – gęsto upakowane, poliedryczne pęcherzyki gazu rozdzielone są cienkimi filmami międzyfazowymi, d) przerwanie filmu – destabilizacja piany.

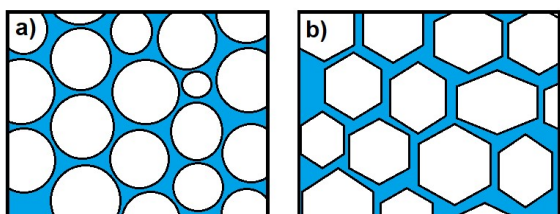
- piany stałe (aerożele, piany suche) – to układy, w których fazą rozpraszającą jest ciało stałe, a rozproszoną gaz. Piany stałe są znacznie stabilniejsze od pian ciekłych. Ich charakterystyczną cechą jest to, że są około sto razy lżejsze od równoważnego materiału stałego o identycznych wymiarach (np.: kości, gąbki morskie, pumeks, pieczywo, pianki montażowe, piany metaliczne, pianki Marshmallows i bezy).

Podział pian według trwałości:

- piany nietrwałe – to głównie wodne roztwory substancji o krótkich łańcuchach amfifilowych np.: kwasów lub alkoholi,
- piany metastabilne – zbudowane są z substancji o dłuższych łańcuchach np.: mydła, detergenty syntetyczne, białka lub saponiny,
- piany trwałe – piany stałe dobrze odwodnione zwykle o budowie poliedrycznej.

Podział pian ze względu na kształt pęcherzyków:

- piana sferyczna, nazywana także kulistą,
- piana heksagonalna, nazywana także wielościenneą lub poliedryczną.

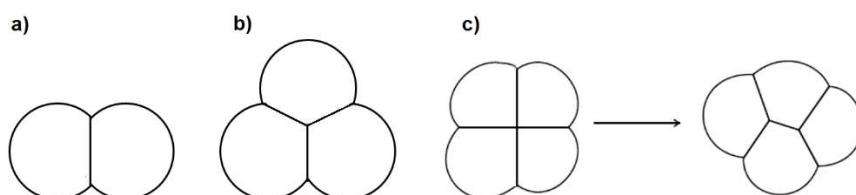


Rys. 3. Piana sferyczna (kulista) i heksagonalna (wielościennea, poliedryczna).

Powstawanie pian

Powstawanie pian jest procesem zależnym od energii. Gdy do roztworu surfaktantu wprowadzony zostanie gaz, rozprasza się on w cieczy w postaci pęcherzyków, a molekuły surfaktantów adsorbują się na granicy faz ciecz – gaz. Stabilizowany surfaktantem pęcherzyk gazu może przesuwać się w cieczy ku górze. W momencie, gdy pęcherzyk znajdzie się na granicy fazy ciekłej, unosi część cieczy z warstewką surfaktantu, a wówczas ciecz przesuująca się na powierzchnię tworzy nową warstewkę powierzchniową. Pęcherzyki gazu, które znalazły się na powierzchni cieczy, nazywane są pianą elementarną. Piana elementarna pokryta jest tzw. filmem powierzchniowym utworzonym z dwóch warstw adsorpcyjnych,

między którymi znajduje się ciecz (Rys. 1). W wyniku bezpośredniego kontaktu pomiędzy pęcherzykami gazu tracą one charakter kulisty, tworząc piany o poliedrycznym kształcie pęcherzyków. Rys. 4 przedstawia optymalne połączenia kilku pęcherzyków piany wzdłuż tzw. krawędzi *plateau*. Na skutek dalszego unoszenia się na powierzchnię cieczy kolejnych pęcherzyków gazu stabilizowanych molekułami surfaktantów powstaje w pełni wytworzona piana.



Rys. 4. Optymalne połączenia kilku pęcherzyków piany wzdłuż tzw. krawędzi plateau: a) dwa pęcherzyki b) trzy pęcherzyki, c) cztery pęcherzyki.

Metody otrzymywania pian

Podobnie jak w przypadku innych koloidów istnieją dwie podstawowe metody otrzymywania pian. Są to metody kondensacyjne i dyspersyjne.

Metody kondensacyjne

- ogrzewanie cieczy zawierającej rozpuszczony gaz (w pierwszym etapie uwalniane są pęcherzyki rozpuszczonego gazu, a kolejne pęcherzyki powstają w wyniku parowania cieczy),
- obniżenie ciśnienia cieczy zawierającej rozpuszczony gaz (proces ten powoduje uwalnianie z cieczy pęcherzyków rozpuszczonego gazu),
- reakcje chemiczne, w wyniku których powstają pęcherzyki gazu rozproszone w cieczy.

Metody dyspersyjne

- mechaniczne mieszanie lub wytrząsanie układu przy użyciu mieszadła lub perforowanego dysku,
- przepuszczanie gazu do cieczy przez filtr porowaty, gazę, bibułę, porowatą przegrodę lub poprzez wdmuchiwanie gazu przez gazę zwilżoną roztworem,
- nalewanie cieczy na powierzchnię tej samej cieczy z dużej wysokości,
- zasysanie (wchłanianie) gazu przez płynącą ciecz.

Stabilizacja piany i jej rodzaje

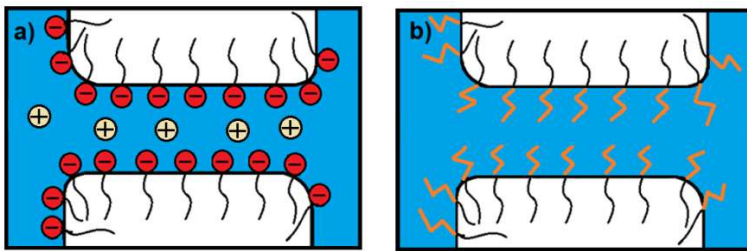
Piany to układy termodynamicznie niestabilne. Jeśli pęcherzyk gazu znajdujący się w cieczy nie jest stabilizowany, to ze względu na fakt, że gęstość gazu jest mniejsza od gęstości cieczy, działanie siły wyporu zgodnie z prawem Archimedesesa powoduje ucieczkę pęcherzyków gazu z cieczy. Proces ten nosi nazwę odgazowania (deaeracji). W celu uzyskania stabilnej piany konieczna jest obecność w układzie dodatkowych substancji stabilizujących np. surfaktantów. Ich stabilizujące działanie jest konsekwencją adsorpcji na granicy faz ciecz - gaz. Dodatkowo w związku z tym, że związki charakteryzują się budową amfifilową obniżają napięcie powierzchniowe i zwiększają lepkość układu dodatkowo go stabilizując. Stabilność piany zależy od szeregu czynników. Do najważniejszych z nich należą:

- obecność surfaktantów lub innych stabilizujących,
- stężenie związku stabilizującego,
- temperatura,
- obecności innych substancji (np.: elektrolitów lub ciał stałych) mogących wpływać na stabilność układu.

Aby piana była stabilna konieczna jest obecność na granicy faz odczynników stabilizujących np. surfaktantów. Jak już wspomniano, ich zadaniem jest adsorpcja na granicy faz, zmniejszenie napięcia powierzchniowego i zwiększenie lepkości układu. O zdolnościach surfaktantów do tworzenia pian w wodnych roztworach decyduje wiele czynników. Do najważniejszych z nich należą budowa chemiczna surfaktantu i jego stężenie, ale ważne są także pH układu, twardość wody i obecność w układzie innych składników. Największą zdolność pianotwórczą wykazują surfaktanty o długości łańcucha alkilowego w zakresie od dwunastu do piętnastu atomów węgla. W zależności od typu używanego surfaktantu w pianach może występować dwa typy stabilizacji: **elektrostatyczna** (wywołana obecnością jonowych związków pianotwórczych, a wynikająca z elektrostatycznego odpychania ich jednoimiennie naładowanych grup funkcyjnych) i **steryczna** (wywołana obecnością niejonowych związków pianotwórczych, a wynikająca z obecności bariery sterycznej) (Rys. 5). Surfaktanty są najbardziej efektywne pianotwórczo w stężeniach bliskich CMC¹ (krytycznemu stężeniu micelizacji), wówczas gdy na granicy faz gaz/ciecz jest utworzona

¹ **CMC** – to o najmniejsze stężenie surfaktantu, przy którym w roztworze obecne są agregaty jego cząsteczek tzw. micelle.

monowarstwa. Należy jednak pamiętać, że surfaktanty to nie jedyne odczynniki pianotwórcze. Lista pozostałych przedstawiona jest poniżej.



Rys. 5. Rodzaje stabilizacji piany: a) elektrostatyczna b) steryczna.

Przykłady odczynników pianotwórczych:

- syntetyczne surfaktanty jonowe i niejonowe,
- mydła wyższych kwasów tłuszczowych,
- albumina – białko jaja kurczego (stabilizuje musy, ubijane kremy i bezy),
- saponina (stosowana do walki z ogniem),
- kwasy tolulilowe, olej sosnowy, wyższe alkohole (wykorzystywane we flotacji pianowej),
- hydrofobowe cząstki węgla i soli kwasów tłuszczowych (ich działanie stabilizacyjne polega na pokrywaniu ochronną powłoką pęcherzyków gazu).

Destabilizacja piany

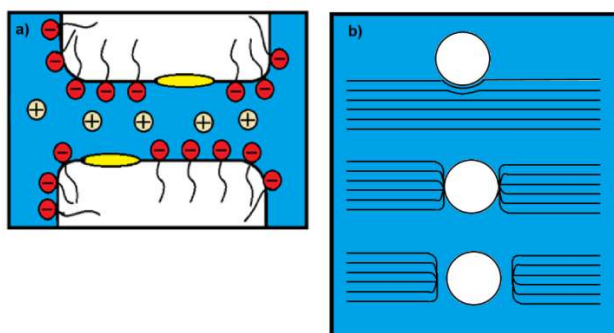
Pęcherzyki gazu w pianie otacza cieniutka warstwa płynu tzw. film, pod którym uwięzione jest powietrze. Zlepek pęcherzyków pod wpływem napięcia powierzchniowego przyjmuje najbardziej optymalny kształt. Jednak upływ czasu prowadzi do pęcherzyki destabilizacji układu. Do najważniejszych procesów odpowiedzialnych za destabilizację (łamanie) piany są:

- **odwadnianie grawitacyjne** – destabilizację powoduje spływanie cieczy, która tworzy film, proces ten wynika z siły grawitacji (dlatego piana ulega destabilizacji „od góry”, czyli najpierw pękają najwyżej położone pęcherzyki piany),
- **odwadnianie ciśnieniowe** – różnica ciśnień pomiędzy wnętrzem pęcherzyka gazu i filmem otaczającym pęcherzyk piany powoduje odciekanie piany,
- **pęknięcie filmu** – w wyniku parowania cieczy film cieczy między pęcherzykami może zostać osłabiony i ulec przerwaniu, co destabilizuje pianę,

- **rozrost pęcherzyków gazu** – na skutek występowania różnicy ciśnień pomiędzy pęcherzykami gazu o różnych rozmiarach, wyższe ciśnienie gazu w mniejszych pęcherzykach powoduje, że gaz w nich zawarty dyfunduje do pęcherzyków o większych rozmiarach, w których ciśnienie gazu jest niższe. W wyniku tego procesu małe pęcherzyki stopniowo zanikają, a większe pęcherzyki rosną (koalescencja²).

Istnieją także substancje chemiczne, których obecność działa przeciw pianotwórczo. Są to tzw. **inhibitory piany**. Do najważniejszych z nich należą:

- eter, *n*-butanol i kwas kaprynowy (pentanokarboksyłowy) – powodują desorpcję odczynnika pianotwórczego i destabilizację piany,
- fosforan trójbutylowy – obniża lepkość cieczy, przez co przyspiesza proces ociekania piany,
- drobne cząstki ciała stałego np. SiO₂ – mogą powodować przerwanie filmu i destabilizację piany,
- oleje np. olej silikonowy – jako substancja nierozpuszczalna w wodzie destabilizuje piany na bazie wody.



Rys. 6. Schemat działania inhibitorów piany: a) desorpcja odczynnika pianotwórczego b) przerwanie filmu przez cząstkę stałą.

Opis właściwości pian

Można wyróżnić kilka wielkości fizykochemicznych pozwalających na scharakteryzowanie właściwości pian. Do najważniejszych z nich należą: zdolność pianotwórcza, trwałość oraz gęstość pian.

² **Koalescencja** – to proces zachodzący w układach koloidalnych (na przykład pianach i emulsjach) polegający na łączeniu się cząstek fazy rozproszonej (pęcherzyków gazu lub kropli cieczy) w większe, co zmniejsza stopień dyspersji układu. Proces ten prowadzi do destabilizacji piany i rozbicia emulsji na odrębne fazy.

Zdolność pianotwórcza wyrażana poprzez wysokość lub objętość piany utworzonej w określonych warunkach.

Trwałość pian to wielkość obliczona w wyniku podzielenia wysokości lub objętości otrzymanej piany, zmierzonej po upływie określonego czasu, do wysokości lub objętości tej samej piany, zmierzonej natychmiast po jej wytworzeniu (np. po upływie 1 minuty).

Trwałość piany zależy głównie od właściwości powierzchniowej warstewki adsorpcyjnej surfaktantu stabilizującego pianę, czyli, wspomnianego już wyżej, filmu. Im bardziej film jest elastyczny, tym szybciej układ jest w stanie zmienić napięcie powierzchniowe i uzyskana pianka jest trwalsza. Kolejnym czynnikiem wpływającym na trwałość piany jest prężność gazu w pęcherzykach piany. Im pęcherzyki piany są mniejsze, tym prężność gazu jest większa, a to skutkuje większą trwałością piany.

Gęstość pian wyrażona jest stosunkiem objętości roztworu przeprowadzonego w pianę do objętości piany. W praktyce można także wyznaczyć zależność pomiędzy zmianą objętości piany po upływie pewnego czasu, a zmianą objętości cieczy powstałej na skutek ociekania piany, zmierzoną po upływie tego samego czasu.

Zastosowanie i znaczenie pian

Piany znajdują wiele ciekawych zastosowań w życiu i gospodarce człowieka. Chętnie wykorzystuje je przemysł spożywczy (np.: bita śmietana, musy, lody, pianki Marshmallows, pieczywo, biszkopty, bezy, suflet, piwo) i kosmetyczny (np.: pianka do golenia, pianka do układania włosów, pumeks). Duże znaczenie mają także piany stosowane jako środki czyszczące (np. pianki przeciw kurzowi, piany do czyszczenia piekarników i usuwania kamienia). Innymi ważnymi zastosowaniami pian są: gaszenie ognia, flotacja minerałów, produkcja opakowań (spieniony polistyren), materiałów budowlanych (np. beton komórkowy) oraz materiałów amortyzujących (np. gąbka tapicerska). Należy jednak pamiętać, że w wielu procesach technologicznych powstawanie piany jest czynnikiem bardzo niepożądanym np.: powstawanie piany w procesach galwanicznych, w trakcie produkcji papieru, antybiotyków i artykułów spożywczych (np. piwa, cukru, drożdży). Dlatego też zagadnienia związane z przebiegiem procesów stabilizacji i destabilizacji pian są przedmiotem niesłabnącego zainteresowania.

Ubijanie piany z białek

Wytwarzanie piany z białek polega na wprowadzeniu gazu obojętnego (powietrza) do roztworu białka jaja kurzego (albuminy) w sposób mechaniczny (aeracja). W czasie procesu

tworzenia piany powstają pęcherzyki gazu, które podczas dalszego ubijania ulegają kolejnym rozpadom na coraz mniejsze pęcherzyki. Im dłużej wtłacza się powietrze do piany, tym bardziej piana staje się lżejsza, sztywniejsza, trwalsza i bardziej błyszcząca (błyszczenie spowodowane jest odparowaniem części wody). Jednak tak otrzymane piany nie są trwałe, dlatego, że białko, które uległo rozfaldowaniu wskutek wprowadzenia do układu dużej ilości energii mechanicznej, zaczyna ponownie odtwarzać swoją pierwotną konformację. Dlatego też powszechnie w przemyśle spożywczym stosuje się odpowiednie substancje mające na celu dodatkową stabilizację piany. Najczęściej w początkowym etapie ubijania piany zwykle dodaje się do niej szczyptę soli. Dodatek soli sprawia, że pianę ubija się łatwiej i szybciej, ponieważ sól, jako elektrolit, powoduje szybszą koagulację białka. Kolejnym częstym dodatkiem do piany jest cukier. Piana wytwarzana w obecności cukru składa się z mniejszych pęcherzyków powietrza, co powoduje, że jest bardziej stabilna. Należy pamiętać, że powstawaniu piany może przeszkadzać obecność niektórych substancji np. tłuszczów, które konkurują z cząsteczkami białek. Wówczas powstała piana jest mniej jednorodna, a jej pęcherzyki szybciej pękają. Z tego samego powodu ubijaniu piany szkodzi obecność żółtka, które oprócz białka zawiera także tłuszcz.

APARATURA I ODCZYNNIKI

- cztery cylindry o pojemności 600 cm³ z zamknięciem, wyposażone w perforowany tłok o średnicy 9 cm,
- waga laboratoryjna,
- mieszadło magnetyczne z funkcją grzania,
- kolby miarowe o objętości 100 cm³ – 4 sztuki,
- surfaktanty: niejonowe np. TWEEN 60 (monostearynian sorbitanu polioksyetyleny), anionowe np. SDS (dodecylosiarczan(VI) sodu) oraz kationowe np. CTAB (bromek heksadecylotrimetyloamoniowy),
- inhibitory powstawania piany: olej silikonowy lub *n*-butanol,
- stoper.

WYKONANIE ĆWICZENIA

Piana 1

W kolbie o objętości 200 cm³ przygotować 0,1% (wagowo-objętościowy) roztwór surfaktantu anionowego (np. SDS). W tym celu odważyć na wadze analitycznej 0,2 g surfaktantu, po czym

przenieść go do kolby i dopełnić wodą redestylowaną do kreski. Otrzymany roztwór przelać do cylindra o pojemności 600 cm³ wyposażonego w perforowany tłok i zamknięcie. W celu wytworzenia piany wykonać 10 rytmicznych ruchów tłokiem, a następnie zdjąć pokrywę z tłokiem z naczynia. Po określonym czasie (od razu po otrzymaniu piany - 0 min, po 5 min, po 10 min, po 20 min, po 30 min i po 45 min) dokonać odczytu wysokości piany oraz wysokości odcieku za pomocą linijki.

Piana 2

W kolbie o objętości 200 cm³ przygotować 0,1% (objętościowo-objętościowy) roztwór składający się z surfaktantu niejonowego (np. TWEEN 60). W tym celu odpipetować 20 cm³ 1% roztworu surfaktantu do kolby i dopełnić kolbę wodą redestylowaną do kreski. Otrzymany roztwór przelać do cylindra o pojemności 600 cm³ wyposażonego w perforowany tłok i zamknięcie. W celu wytworzenia piany wykonać 10 rytmicznych ruchów tłokiem, a następnie zdjąć pokrywę z tłokiem z naczynia. Po określonym czasie (od razu po otrzymaniu piany – 0 min, po 5 min, po 10 min, po 20 min, po 30 min i po 45 min) dokonać odczytu wysokości piany oraz wysokości odcieku za pomocą linijki.

Piana 3

W kolbie o objętości 200 cm³ przygotować 0,1% (wagowo-objętościowy) roztwór składający się z surfaktantu kationowego (np. CTAB). W tym celu odważyć na wadze analitycznej 0,2 g surfaktantu, po czym przenieść go do kolby i dopełnić wodą redestylowaną do połowy objętości, a następnie ogrzewać mieszając na mieszadle magnetycznym. Kiedy CTAB ulegnie rozpuszczeniu wyjąć mieszadło z kolby i dopełnić kolbę wodą redestylowaną do kreski. Otrzymany roztwór przelać do cylindra o pojemności 600 cm³ wyposażonego w perforowany tłok i zamknięcie. W celu wytworzenia piany wykonać 10 rytmicznych ruchów tłokiem, a następnie zdjąć pokrywę z tłokiem z naczynia. Po określonym czasie (od razu po otrzymaniu piany - 0 min, po 5 min, po 10 min, po 20 min, po 30 min i po 45 min) dokonać odczytu wysokości piany oraz wysokości odcieku za pomocą linijki.

Piana 4

W kolbie o objętości 200 cm³ przygotować 0,1% (wagowo-objętościowy) roztwór surfaktantu kationowego (np. CTAB). W tym celu odważyć na wadze analitycznej 0,2 g surfaktantu, po czym przenieść go do kolby i dopełnić wodą redestylowaną do połowy objętości, a następnie ogrzewać mieszając na mieszadle magnetycznym. Kiedy CTAB ulegnie rozpuszczeniu wyjąć

mieszadło z kolby i dopełnić kolbę wodą redestylowaną do kreski. Otrzymany roztwór przelać do cylindra o pojemności 600 cm³ wyposażonego w perforowany tłok i zamknięcie, po czym dodać 1 cm³ inhibitora powstawania piany np.: oleju silikonowego. W celu wytworzenia piany wykonać 10 rytmicznych ruchów tłokiem, a następnie zdjąć pokrywę z tłokiem z naczynia. Po określonym czasie (od razu po otrzymaniu piany - 0 min, po 5 min, po 10 min, po 20 min, po 30 min i po 45 min) dokonać odczytu wysokości piany oraz wysokości odcieku za pomocą linijki.

Obserwacje zanotować w tabelach:

	Piana 1	Piana 2	Piana 3	Piana 4
Wysokość słupa piany [mm] po wytworzeniu				
Wysokość fazy wodnej [mm] po wytworzeniu				
Wysokość słupa piany [mm] po 5 min				
Wysokość fazy wodnej [mm] po 5 min				
Wysokość słupa piany [mm] po 10 min				
Wysokość fazy wodnej [mm] po 10 min				
Wysokość słupa piany [mm] po 20 min				
Wysokość fazy wodnej [mm] po 20 min				
Wysokość słupa piany [mm] po 30 min				
Wysokość fazy wodnej [mm] po 30 min				
Wysokość słupa piany [mm] po 45 min				
Wysokość fazy wodnej [mm] po 45 min				

OPRACOWANIE WYNIKÓW

W ramach wykonania opracowania do niniejszego ćwiczenia należy obliczyć zdolność pianotwórczą (X [cm³]), czyli właściwość środka powierzchniowo czynnego określoną objętością wytworzonej piany po jednej minucie, w oparciu o następujący wzór:

$$X = \frac{9^2 \pi h}{4} \quad (1)$$

gdzie: h – odczytana wysokość słupa piany [cm], 9 – średnica wewnętrzna cylindra pomiarowego [cm].

Uzyskane wyniki proszę umieścić w tabeli:

	Piana 1	Piana 2	Piana 3	Piana 4
Zdolność pianotwórcza piany [cm ³] po wytworzeniu				

Drugim etapem wykonania opracowania jest określenie wskaźnika trwałości piany (Y [%]). Jest to wielkość obliczona w wyniku podzielenia wysokości lub objętości piany zmierzonej po upływie określonego czasu do wysokości lub objętości tej samej piany, zmierzonej po upływie 1 minuty licząc od chwili jej wytworzenia. Wskaźnik trwałości piany (Y) należy obliczyć w procentach według poniższego wzoru:

$$Y = \frac{h_2}{h_1} 100\% \quad (2)$$

gdzie: h_1 – wysokość piany zmierzona bezpośrednio po jej przygotowaniu [cm], h_2 – wysokość piany zmierzona po upływie określonego czasu (np. 5 min; 10 min; 20 min; 30 min; 45 min) [cm].

Uzyskane wyniki proszę umieścić w tabeli:

	Piana 1	Piana 2	Piana 3	Piana 4
Wskaźnik trwałości piany [%] po 5 min				

Wskaźnik trwałości piany [%] po 10 min				
Wskaźnik trwałości piany [%] po 20 min				
Wskaźnik trwałości piany [%] po 30 min				
Wskaźnik trwałości piany [%] po 45 min				

Na podstawie uzyskanych wyników należy sporządzić wykres zależności trwałości pian uzyskanych w poszczególnych układach od czasu.

Kolejnym etapem wykonania opracowania jest obliczenie gęstości piany (d_p). Gęstość tę oblicza się w oparciu o następujący wzór:

$$d_p = \frac{V_{C10} - V_{C5}}{V_{P5} - V_{P10}} \quad (3)$$

gdzie: $V_{P5,10}$ – objętość piany zmierzona po upływie 5 minut oraz po upływie 10 minut [cm^3],
 V_{C5} – objętość cieczy zmierzona po upływie 5 minut oraz po upływie 10 minut [cm^3].

Objętość piany i objętość cieczy należy obliczyć w oparciu o wzór na objętość walca:

$$V = 4,5^2 \pi h \quad (4)$$

gdzie: h – odczytana wysokość słupa piany lub cieczy [cm], 4,5 – promień wewnętrzny cylindra pomiarowego [cm].

Uzyskane wyniki proszę umieścić w tabeli:

	Piana 1	Piana 2	Piana 3	Piana 4
V_{C5}				
V_{C10}				
V_{P5}				
V_{P10}				
d_p				

LITERATURA

1. D. Myers, Surfaces, Interfaces And Colloids – Principles and Applications, Wiley-VCh, New York 1999.
2. K.S. Birdi, Surface and Colloid Chemistry – Principles and Applications, CRC Press, London 2010.
3. H.J. Butt, K. Graf, M. Kappl, Physics and Chemistry of Interfaces, Wiley-VCh, Weinheim 2003.
4. D.J. Shaw, Introduction to Colloid and Surface Chemistry, Butterworth-Heinemann, Oxford 1992.
5. D.H. Everett, Basic Principles of Colloid Science, Royal Society of Chemistry, London 1988.
6. H. Sonntag, Koloidy, PWN, Warszawa 1982.
7. J.C. Berg, An Introduction to Interfaces and Colloids – The Bridge to Nanoscience, World Scientific, New Jersey 2010.