

## Ćwiczenie nr II-S

# WYZNACZANIE KRYTYCZNEGO STĘŻENIA MICELIZACJI ZWIĄZKÓW POWIERZCHNIOWO CZYNNYCH

## Ćwiczenie nr IIb-S

# BADANIE WPŁYWU BUDOWY SURFAKTAN- TÓW NIEJONOWYCH NA CMC

## I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu budowy części hydrofobowej i hydrofilowej surfaktantów niejonowych – Brij 30 i Brij 35 na krytyczne stężenie micelizacji (CMC).

## II. Zagadnienia wprowadzające

1. Charakterystyka i budowa związków powierzchniowo czynnych:
  - rodzaje grup hydrofobowych i hydrofilowych,
  - położenie grup hydrofilowych w cząsteczce.
2. Klasyfikacja związków powierzchniowo czynnych ze względu na charakter chemiczny grup funkcyjnych.
3. Klasyfikacja ze względu na źródła surowców stosowanych do produkcji.
4. Podział surfaktantów według Stüpel'a (ze względu na technologie produkcji i surowce).
5. Podział ze względu na właściwości użytkowe.
6. Klasyfikacja ogólna surfaktantów niejonowych.
7. Właściwości roztworów substancji powierzchniowo czynnych.
8. Metody wyznaczania krytycznego stężenia micelizacji (CMC).
9. Czynniki wpływające na CMC.
10. Zastosowanie związków powierzchniowo czynnych.
11. Ochrona środowiska naturalnego – usuwanie związków powierzchniowo czynnych ze ścieków komunalnych i przemysłowych.

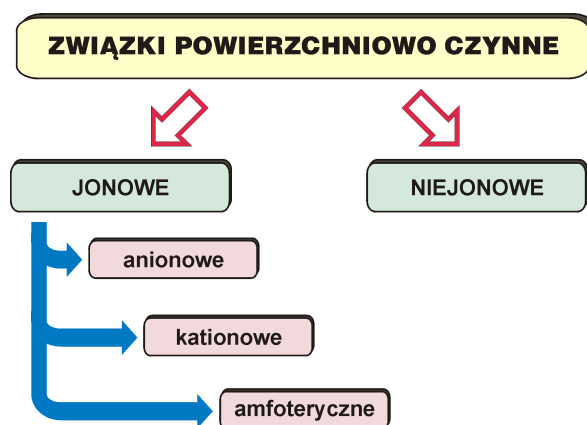
**Literatura obowiązująca:**

1. R. Zieliński, *Surfaktanty, towaroznawcze i ekologiczne aspekty ich stosowania*, Wydawnictwo AR Poznań, 2000.
2. W. Malinka, *Zarys chemii kosmetycznej*, Volumed Wrocław, 1999.
3. A. Anastasiu, E. Jelescu, *Środki powierzchniowo czynne*, WNT Warszawa, 1973.
4. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizykochemii granic faz*, Wydawnictwo UMCS Lublin, 2000 – teoria do ćwiczenia IX.

### III. Część teoretyczna

#### III. 1. Klasyfikacja związków powierzchniowo czynnych

Związki powierzchniowo czynne (surfaktanty) klasyfikujemy ze względu na rodzaj ich grupy funkcyjnej, która w dużej mierze decyduje o ich właściwościach i zastosowaniu surfaktantów. Wyróżniamy surfaktanty **jonowe**, w których grupa funkcyjna obdarzona jest ładunkiem elektrycznym i **niejonowe**, w których grupa funkcyjna pozbawiona jest ładunku. Z kolei wśród surfaktantów jonowych wyróżniamy surfaktanty **anionowe** — grupa funkcyjna ma ładunek ujemny, **kationowe** — grupa funkcyjna ma ładunek dodatni oraz **amfoteryczne** — gdy grupa funkcyjna posiada zarówno ładunek dodatni jak i ujemny.



**Rys. 1.** Klasyfikacja związków powierzchniowo czynnych ze względu na charakter chemiczny ich grup funkcyjnych

#### III. 2. Surfaktanty niejonowe

Surfaktanty niejonowe są związkami powierzchniowo czynnymi, posiadającymi w swoich cząsteczkach *grupy hydrofilowe*, które w roztworach wodnych nie wykazują zdolności do dysocjacji. Do najczęściej spotykanych grup hydrofilowych należą *grupy eterowe* i *alkoholowe*. Związki niejonowe w niewielkim stopniu są wrażliwe na zmiany pH, a ich rozpuszczalność w wodzie jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury. W kosmetyce związki te są wykorzystywane jako emulgatory, solubilizatory, czynniki natłuszczające i myjące.

Ze względu na zachowanie się surfaktantów niejonowych w wodzie możemy je podzielić na następujące grupy:

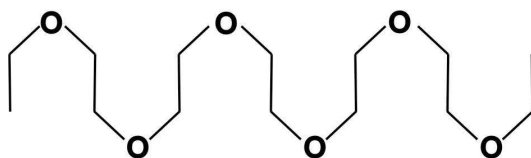
- związki rozpuszczalne w wodzie,
- związki tworzące dyspersje w wodzie,
- związki nie ulegające zdyspergowaniu w wodzie (nierozpuszczalne w wodzie, ale często rozpuszczalne w tłuszczach).

Biorąc pod uwagę budowę chemiczną i sposób otrzymywania, surfaktanty niejonowe możemy podzielić na:

- naturalne związki niejonowe, np. saponiny, charakteryzujące się wysoką zdolnością emulgującą,
- estry kwasów tłuszczowych i alkoholi,
- pochodne polietoksylowane.

### III. 2.1. Pochodne polietoksylowane

Do grupy produktów polietoksylowanych należą surfaktanty niejonowe, które swoją rozpuszczalność zawdzięczają obecności łańcucha oksyetylowanego w części hydrofobowej. Ze względu na pochodzenie części hydrofobowej łańcucha związki te należą do różnych klas związków chemicznych, które mają jednak wiele wspólnych właściwości. Reakcji polietoksylowania poddaje się najczęściej alkohole tłuszczowe, tłuszcze, alkilofenole, aminy tłuszczowe, amidy tłuszczowe, estry kwasów tłuszczowych z sacharozą, sorbitolem lub pentaerytrytem. Część hydrofilowa cząstek polietoksylowanych związków powierzchniowo czynnych ma następującą budowę:



Rys. 2. Budowa części hydrofilowej pochodnych polietoksylowanych

#### III. 2.1.1. Oksyetylenowane alkohole tłuszczowe

Do surfaktantów niejonowych często stosowanych w kosmetyce zalicza się oksyetylenowane alkohole tłuszczowe. Są one otrzymywane przez kondensację alkoholi tłuszczowych: laurylowego, cetylowego, stearylowego i olejowego z tlenkiem etylenu (lub tlenkiem polipropylenu).



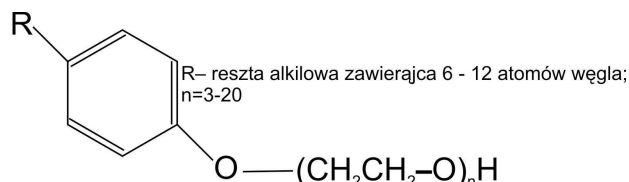
Rys. 3. Oksyetylenowany alkohol tłuszczowy

Wykazują one konsystencję od płynnej do woskowatej i różnią się znacznie stopniem powinowactwa do fazy wodnej i olejowej. Stopień powinowactwa tych produktów do fazy wodnej zależy od liczby fragmentów oksyetylenowych. Związki te są nieco silniej toksyczne (toksyczność chroniczna) i nieco mniej zgodne fizjologicznie od estrów kwasów tłuszczowych i glikoli polioksyetylenowych. Oksyetylenowane alkohole tłuszczowe mogą być stabilizatorami emulsji, solubilizatorami dla olejków perfumeryjnych i witamin olejowych oraz czynnikami natłuszczającymi. Należą one do substancji dobrze tolerowanych przez skórę, niewrażliwych na twardą wodę oraz stabilnych w szerokim zakresie pH. Związki te w produktach kosmetycznych występują pod róż-

nymi nazwami: Brij, Cremophor A, Dehydol, Elfapur LM, Eumulgin, Hostacerin T-3, Marlipale, Mulsifane, Oxetale, Promulgen, Rewomul CSF, Genopole, Emulphogene.

### III. 2.1.2. Oksyetylenowane alkilofenole

Produkty polietoksyłowania alkilofenoli w zależności od liczby grup etoksyłowych ( $n$ ) różnią się właściwościami.

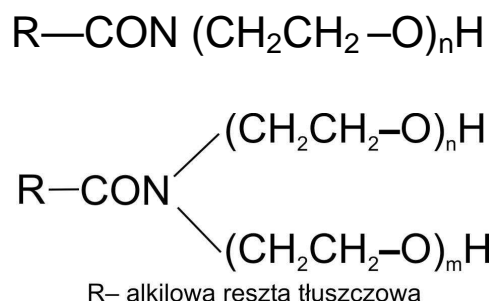


**Rys. 4.** Oksyetylenowane alkilofenole

Związki o zawartości od 3 do 6 grup etoksyłowych, są praktycznie nierozpuszczalne w wodzie, od 7 do 15 grup etoksyłowych są doskonałymi środkami piorącymi, a powyżej 15 wykazują bardzo dobre właściwości zwilżające. W kosmetyce wykorzystuje się oksyetylowane alkilofenole jako emulgatory. W większości takich emulgatorów jako podstawnik R występuje prosty 9-węglowy łańcuch alkilowy. Oksyetylenowane *p*-nonylofenole różnią się długością łańcucha polioksyetylenowego ( $n$ ), co wpływa na ich powinowactwo do fazy wodnej i olejowej, dla  $n > 6$  rozpuszczają się w wodzie. W kosmetyce są one emulgatorami typu olej/woda (O/W) lub solubilizatorami. Nazwy handlowe tych związków to Arkopal N, Cremophor NP, Elfapur N, Etophene, Lmacite, Marlophen, Nonoxyl, Triton N, Igepal CO, Makon. Emulgatory alkilofenolowe serii Triton X, zawierające w położeniu *para* pierścień rozgałęziony 8-węglowy łańcuch alkilowy, a dodatkowo ich pierścień aromatyczny może być całkowicie uwodorniony, znane są pod nazwami: Octoxynol, Igepal CA, Polytergent G, Igepal CA-630, Neutronyx 605, Triton X-100.

### III. 2.1.3. Oksyetylenowane amidy kwasów tłuszczowych

W wyniku reakcji oksyetyłowania alkanoloamidów kwasów tłuszczowych powstają N-monopolioksyetylenowane amidy tłuszczowe oraz ich N,N-dipodstawione analogi:

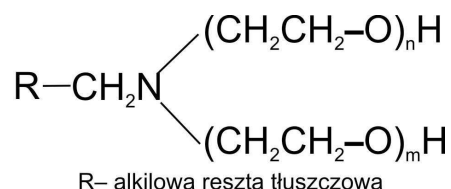


**Rys. 5.** Polioksyetylenowane alkanolamidy tłuszczowe

W kosmetyce związki te występują w szamponach i płynach do kąpieli, gdzie są stabilizatorami piany, środkami zwilżającymi i emulgującymi. Spełniają także funkcję stabilizatorów w olejkach perfumeryjnych, olejach roślinnych i barwnikach. W szamponach mogą pełnić rolę zasadniczego czynnika myjącego preparatu. Znane są pod nazwami handlowymi: Dionil, Rewopal C6, Ethomide.

### III. 2.1.4. Oksyetylenowane aminy tłuszczowe

Oksyetylenowane aminy tłuszczowe, powstają w reakcjach odpowiednich amin tłuszczowych lub ich mieszanin, wytwarzanych np. na bazie oleju kokosowego z tlenkiem etylenu stosowanym w nadmiarze. Aminy tłuszczowe w zasadzie należą do surfaktantów niejonowych, ale w roztworach kwaśnych zachowują się jak surfaktanty kationowe.

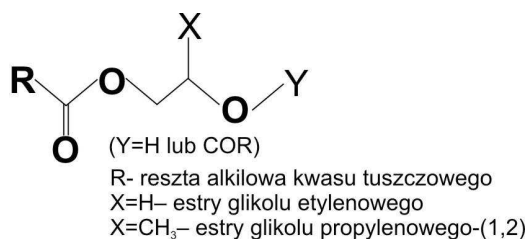


Rys. 6. Polioksyetylenowane aminy tłuszczowa

Związki te wywodzą się głównie z lauryloaminy, dłuższy łańcuch utrudnia rozpuszczalność tych związków w wodzie. W artykułach kosmetycznych występują one jako środki zwilżające, antystatyczne, emulgatory lub substancje zagęszczające. Substancje te mogą występować tu pod nazwą Ethomeene.

### III. 2.2. Estry tłuszczowe glikoli i gliceryny

Estry tłuszczowe glikoli i gliceryny powstają w reakcji estryfikacji np. nadmiaru glikolu etylenowego z kwasem palmitynowym.



Rys. 7. Ester glikolu

Zastosowanie estrów tłuszczowych glikolu etylenowego w mieszaninie z emulgatorami anionowymi lub hydrofilowymi emulgatorami niejonowymi, prowadzi do odwrócenia kierunku działania emulgującego i mieszaniny takie wykorzystuje się do wytwarzania emulsji typu

o/w. Estry stosowane są także jako regulatory konsystencji preparatów mających formę emulsji. Mogą też być środkami zmętniającymi oraz dającymi efekt perlenia artykułów myjących i płynnych środków piorących. Występują pod nazwami handlowymi: Cerasynte, Imwitor, Softigen 701, Monomuls, Cutina GSM, Dracorin, Rewomul MG, Cithrole, Kessco.

Monoestry glicerynowe powstają w reakcji glicerolizy tłuszczów lub w reakcji gliceryny z odpowiednimi kwasami tłuszczowymi. Niezależnie od metody wytwarzania powstają mieszaniny zawierające po 45% mono- i diestru i 10% triestru. Właściwości emulgujące mają jedynie monogliceraniany. Przez destylację otrzymuje się je o czystości 90%. Przykładem emulgatora glicerynowego w/o o mieszanym składzie reszt kwasowych jest Cutina GSM, Imwitor 900, Tegin 515. Substancja ta wytwarzana jest przez estryfikację gliceryny kwasami laurynowymi i stearynowymi, monoestry stanowią 35% składu. Przy zmiennej ilości dwu- i trójestrów produkt zawiera 6% wolnej gliceryny. Częściowe estry tłuszczowe gliceryny są stosowane w charakterze emulgatorów, a także jako koemulgatory oraz regulatory konsystencji w emulsjach typu o/w. Mono-diestry glicerynowe mogą być składnikami bazy maści i kremów.

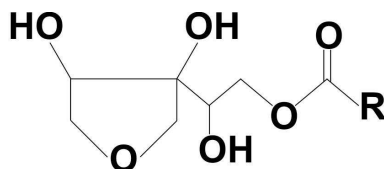
### III. 2.3. Surfaktante niejonowe na bazie węglowodanów

Surfaktanty oparte na bazie surowców naturalnych, wykazują wiele zalet w porównaniu do produktów pochodzenia petrochemicznego. Oprócz dobrych właściwości powierzchniowych charakteryzuje je również łatwość ulegania biodegradacji oraz nietoksyczność. W związku z tym stosuje się je w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym. W wyniku reakcji węglowodanów z różnymi reagentami otrzymuje się mieszaniny związków o różnym stopniu podstawienia.

### III. 2.4. Pochodne D-sorbitu

#### Związki typu Span

Span jest to ogólna nazwa handlowa związków powierzchniowo czynnych, otrzymanych z D-sorbitu. Spany, to mieszaniny częściowych estrów kwasów tłuszczowych sorbitu i jego bezwodników – jedno- i dwucyklicznego sorbitu z kwasami tłuszczowymi: laurylowym, palmitynowym, stearynowym i olejowym.



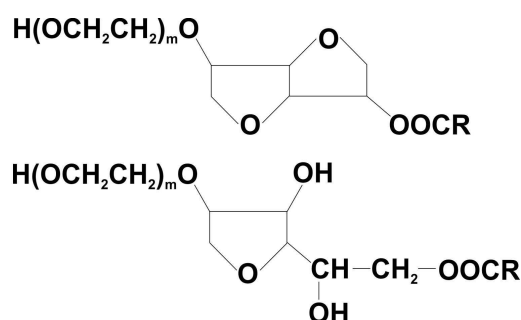
Rys. 8. Ogólny wzór Spanu

Spany są bardzo mało toksyczne, bardzo dobrze tolerowane przez organizm. W przewodzie pokarmowym ulegają hydrolizie, a uwolnione kwasy tłuszczowe są bez trudu metabolizowane. Wszystkie połączenia mają zdecydowanie lipofilowy charakter i niską wartość HLB,

mieszczącą się w granicach 2,0–8,6. Pełnią funkcję środka zagęszczającego, stabilizatora emulsji lub czynnika natłuszczającego. Estry sorbitu występują pod różnymi nazwami handlowymi: Alkamus, Arlacet, Armotan, Crill, Glycomul, Span.

### Związki typu Tween

Tween jest to ogólna nazwa handlowa związków powierzchniowo czynnych otrzymanych na drodze oksyetylowania związków typu Span. Tweedy, to mieszaniny podstawionych tlenkiem etylenu estrów sorbitu oraz jego bezwodników: jednocyklicznego sorbitanu i dwucyklicznego sorbitu z kwasami: larylowym, palmitynowym, stearynowym i olejowym. Otrzymuje się je przez kondensację estrów kwasów tłuszczowych sorbitanu z tlenkiem etylenu w obecności katalizatorów.



Rys. 9. Ogólny wzór Tweenu

Tweeny są fizjologicznie obojętne, praktycznie niedrażniące, bardzo mało toksyczne i dzięki temu mogą być używane do stosowania wewnętrznego. Stosowane są jako środki zwilżające, stabilizatory olejków perfumeryjnych i innych olejowych składników preparatów. Wykazują działanie natłuszczające. Nazwami handlowymi oksyetylenowych estrów tłuszczowych sorbitanu są: Tween, Crillet, Polysorbat, Mulsifane.

**Myrje** - produkty reakcji między kwasem stearynowym a glikolami polioksyetylenowymi. Mieszaniny jedno i dwuestrów z niewielką zawartością odpowiednich glikoli oraz wolnych kwasów tłuszczowych. W zależności od stopnia polimeryzacji i stopnia estryfikacji, otrzymuje się połączenia o różnej masie cząsteczkowej. Ze względu na zmienne ilości domieszek w produktach, jak również na trudności w dokładnym oznaczeniu stopnia polimeryzacji, ścisłe ustalenie masy cząsteczkowej jest niemożliwe.



Rys. 10. Estry tłuszczowe glikolu polietylenowego



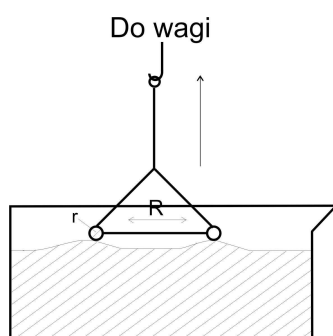
Nazwa handlowa estru tłuszczowego często charakteryzuje pełną budowę związku. Estryfikowany kwasem stearynowym glikol polietylenowy zbudowany z 12 monomerów, opisywany jest jako PEG-12-stearate. Nazwy handlowe związków tego typu to: Cerasynte, Emulphor (M, VN), Emulsynt, Kessco PEG, Marlipal FS, Marlowet, Myrj, Rewoderm ES 90. Należy podkreślić, że wiele z podanych nazw handlowych ma znaczenie szersze i dotyczy również niejonowych emulgatorów oraz stabilizatorów, wywodzących się z innych grup chemicznych. Estry tłuszczowe poliglicerolu zalicza się zarówno do emulgatorów z grupy estrów alkoholi heterołańcuchowych, jak i wielowodorotlenowych. Poliglicerole wytworzone są przez dehydratację gliceryny. W kosmetyce wykorzystuje się praktycznie tylko oleinian glikolu polietylenowego w preparatach do kąpieli.

### III. 3. Metoda tensjometryczna pomiaru napięcia powierzchniowego

Metoda tensjometryczna pomiaru napięcia powierzchniowego, została zaproponowana przez Du Noüy'a, który zastosował ją do szeregu cieczy biologicznych. Zasadą pomiaru napięcia powierzchniowego jest zmierzenie siły potrzebnej do oderwania pierścienia lub drucianego oczka od powierzchni cieczy. Platynowy pierścień zawieszony na odpowiednio czułej i wyskalowanej wadze zanurzamy w cieczy, a następnie podnosimy go do góry. Początkowo przy podnoszeniu pierścienia ciecz podnosi się wraz z nim dzięki sile napięcia powierzchniowego. Po zrównoważeniu siły odrywającej z siłą napięcia powierzchniowego, przeliczoną na długość obwodu pierścienia ( $\times 2$ ) nastąpi oderwanie:

$$W = W_{\text{pierśc.}} + 4\pi R \gamma = W_{\text{pierśc.}} + 2l \gamma \quad (1)$$

gdzie:  $l$  – obwód pierścienia.



**Rys. 11.** Pomiar napięcia powierzchniowego metodą odrywania pierścienia

Siły działające na pierścień o obwodzie  $4\pi R$  nie są równe wprost napięciu powierzchniowemu i dlatego wprowadzony jest współczynnik  $f$ , który jest funkcją promienia pierścienia  $R$ , promienia przekroju drutu  $r$ , objętości cieczy  $V$  podniesionej ponad powierzchnię cieczy na wysokości  $h$ . Tak więc, współczynnik  $f$  można przedstawić jako:

$$f = f\left(\frac{R^3}{V}, \frac{R}{r}\right) \quad (2)$$

Po uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego  $f$  zależność (1) przyjmuje postać:

$$W = W_{\text{pierśc.}} + 2l \gamma f^{-1} \quad (3)$$

natomiast napięcie powierzchniowe można wyrazić jako:

$$\gamma = \frac{W - W_{\text{pierśc.}}}{2l} f \quad (4)$$

Metoda odrywanego pierścienia może być stosowana do pomiaru napięcia powierzchniowego na granicy faz ciecz/gaz, woda/olej oraz woda/olej w obecności znacznych stężeń surfaktantów.

## IV. Część doświadczalna

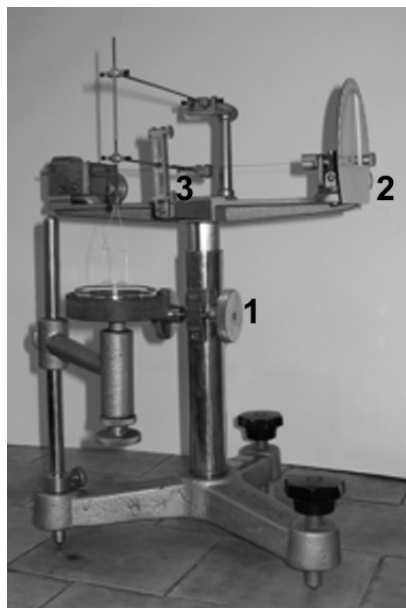
### A. Aparatura i odczynniki

1. Aparatura: tensjometr
2. Sprzęt:
  - kolbka miarowa o pojemności  $25\text{ cm}^3$  – 2szt.,
  - plastikowe pojemniki z nakrętkami – 14 szt.,
  - szalka Petriego,
  - pipeta miarowa o pojemności  $25\text{ cm}^3$  – 2szt.,
  - pipeta miarowa o pojemności  $5\text{ cm}^3$  – 1 szt.,
  - pipety plastikowe o pojemności  $10\text{ cm}^3$  2 szt.,
  - pierścień platynowy,
  - palnik spirytusowy,
  - zapalki.
3. Odczynniki:
  - wodne roztwory Brij 30 [ $\text{C}_{12}\text{H}_{25}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_4\text{OH}$ ] o stężeniu:  $5 \cdot 10^{-5}$  i  $10^{-3}$  M,
  - wodne roztwory Brij 35 [ $\text{C}_{12}\text{H}_{25}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_{10}\text{OH}$ ] o stężeniu:  $5 \cdot 10^{-5}$  i  $10^{-3}$  M.

### B. Program ćwiczenia

1. Przygotowanie wodnych roztworów surfaktantów.
2. Wyznaczenia napięcia powierzchniowego wodnych roztworów surfaktantów metodą tensjometryczną odrywania pierścienia.
3. Sporządzenie wykresów zależności napięcia powierzchniowego roztworów od stężenia substancji rozpuszczonej  $\gamma = f(c)$ .
4. Graficzne wyznaczenie krytycznego stężenia micelizacji (CMC) na podstawie zależności  $\gamma = f(c)$ .
5. Porównanie otrzymanej wartości CMC z danymi literaturowymi:  
 $\text{CMC}_{\text{BRIJ30}} = 3,5 \cdot 10^{-5}\text{M}$ ,  $\text{CMC}_{\text{BRIJ35}} = 5 \cdot 10^{-5}\text{M}$ .

### C. Obsługa przyrządów



**Rys. 12.** Tensjometr – przyrząd do pomiaru napięcia powierzchniowego metodą odrywania pierścienia

Pomiar napięcia powierzchniowego przy pomocy tensjometru przedstawionego na rys. 12 jest metodą porównawczą, tzn. w odniesieniu do znanego napięcia powierzchniowego cieczy odniesienia, np. wody.

Na początek należy zmierzyć wartość siły (wychylenie wskazówki na tarczy), jaką trzeba przyłożyć, aby oderwać pierścień od powierzchni wody (cieczy odniesienia). W tym celu na szalkę (płytkę Petriego) należy wlać ok.  $10\text{ cm}^3$  czystej wody.

1. Używając pokrętki **1** unieść ramię pomiarowe tensjometru.
2. Ostrożnie zawiesić pierścień na ramieniu pomiarowym tensjometru.
3. Przy pomocy pokręteł **3** zwolnić ramię.
4. Pokrętkiem **2** ustalić zero na skali tensjometru.
5. Używając pokrętki **1** opuścić delikatnie pierścień tak, aby tylko dotykał powierzchni cieczy.
6. Powoli pokręcać pokrętkiem **2** do momentu oderwania pierścienia od powierzchni cieczy.
7. Z tarczy tensjometru odczytać wartość siły potrzebnej do oderwania pierścienia od powierzchni cieczy.

Każdy pomiar należy wykonać dwa razy, wyrażając pierścień w palniku po pomiarze. Przed zmianą roztworu należy dokładnie przepłukać szalkę wodą i badanym roztworem. Pomiar przeprowadzamy dla roztworów od najmniejszego do największego stężenia.

## D. Sposób wykonania ćwiczenia

Z przygotowanych roztworów podstawowych przygotować roztwory surfaktantów Brij 30 i Brij 35. W tym celu z roztworu o stężeniu  $5 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  pobrać  $1 \text{ cm}^3$  roztworu i wlać do kolbki miarowej o pojemności  $25 \text{ cm}^3$  i uzupełnić wodą do kreski. Roztwór z kolbki przelać do plastikowego pojemnika oznaczonego nr 1. Następnie przygotować kolejne roztwory pobierając odpowiednio  $2,5$  i  $12,5 \text{ cm}^3$  roztworu. Roztwór 4 to roztwór podstawowy o stężeniu  $5 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ . W tym przypadku do pojemnika nr 4 wlać  $10 \text{ cm}^3$  roztworu podstawowego. Następnie z roztworu podstawowego o stężeniu  $10^{-3} \text{ M}$  pobrać  $2,5$  i  $12,5 \text{ cm}^3$  roztworu wlać do kolbki o pojemności  $25 \text{ cm}^3$  i uzupełnić wodą do kreski. Do pojemnika nr 7 wlać  $10 \text{ cm}^3$  roztworu podstawowego o stężeniu  $10^{-3} \text{ M}$ . Przeprowadzić pomiary napięcia powierzchniowego badanych roztworów surfaktantów niejonowych podobnie jak w punkcie C.

## E. Opracowanie wyników

1. W oparciu o pobrane ilości roztworów surfaktantów obliczyć stężenia badanych roztworów Brij 30 i Brij 35.
2. Odczytać napięcie powierzchniowe wody  $\gamma_w$  z tabeli I, uwzględniając temperaturę, w której odbywały się pomiary napięcia powierzchniowego.

**Tabela I.** Wartości napięcia powierzchniowego wody w różnych temperaturach

T [°C]	$\gamma_w$ [mN/m]	T [°C]	$\gamma_w$ [mN/m]
11	74,07	21	72,59
12	73,93	22	72,44
13	73,78	23	72,28
14	73,64	24	72,13
15	73,49	25	71,97
16	73,34	26	71,82
17	73,19	27	71,66
18	73,05	28	71,50
19	72,90	29	71,35
20	72,75	30	71,18

3. Znając wartość napięcia powierzchniowego wody w temperaturze pomiaru, wyznaczyć wartość współczynnika  $k$ :

$$k = \frac{\gamma_w}{a_w} \quad (1)$$

gdzie:  $a_w$  – ilość kresek odpowiadająca wychyleniu wskazówki na tarczy tensjometru w przypadku pomiaru siły odrywu pierścienia od powierzchni wody.

4. Obliczyć napięcie powierzchniowe roztworów surfaktantów o podanych stężeniach (przeliczyć według następującej zależności:

$$\gamma_x = k \cdot a_x \quad (2)$$

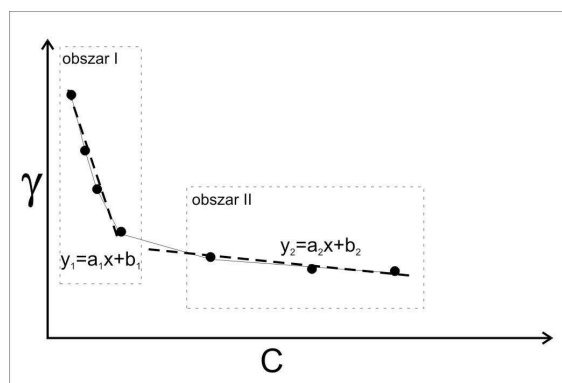
gdzie:  $a_x$  – ilość kresek odpowiadająca wychyleniu wskazówki na tarczy tensjometru w przypadku pomiaru siły odrywu pierścienia od powierzchni roztworu.

5. Otrzymane wyniki zamieścić w Tabeli II:

Tabela II

Substancja	Stężenie [mol/dm <sup>3</sup> ]	$a_x$ [ilość kresek]	$\gamma_x$ [mN/m]
Brij 30	10 <sup>-6</sup>		
	.....		
Brij 35	10 <sup>-6</sup>		
	.....		

6. Wykreślić przebieg zmian napięcia powierzchniowego w funkcji stężenia dla obydwu badanych surfaktantów.
7. Metodą najmniejszych kwadratów obliczyć równanie prostej z punktów, w których następuje szybka zmiana napięcia powierzchniowego (obszar I). Następnie tą samą metodą obliczyć równanie prostej z punktów powolnej zmiany napięcia powierzchniowego (obszar II).



Jeżeli równanie prostej szybkich zmian ma postać :

$$y_1 = a_1x + b_1, \quad (3)$$

a równanie prostej powolnych zmian postać :

$$y_2 = a_2x + b_2, \quad (4)$$

to obie proste przecinają się w punkcie odpowiadającym CMC, które wyliczono ze wzoru:

$$CMC = (b_2 - b_1) / (a_1 - a_2) \quad (5)$$

Analogiczne obliczenia przeprowadzić dla drugiej serii pomiarowej.

8. Otrzymane wartości CMC porównać z wartościami literaturowymi i wyciągnąć wnioski.