

1. gyakorlat (☉) ASSZOCIÁCIÓS KOLLOIDOK KÉPZŐDÉSÉNEK VIZSGÁLATA

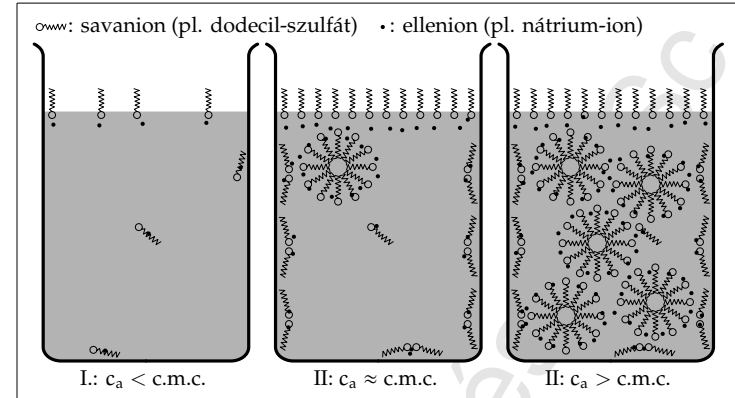
A gyakorlat célja egy asszociációs kolloid oldat gyakran használt jellemző paraméterének, a kritikus micella koncentrációnak a meghatározása.

1.1. Bevezetés

Ha egy olyan vegyületet akarunk feloldani, amely tartalmaz poláris és apoláris részt is¹, akkor az oldás során egyidőben egymással ellentétes kölcsönhatások érvényesülnek. Ha az oldószer poláris (pl. víz), akkor az oldott anyag poláris része kölcsönhatásba akar lépni az oldószerral, míg az apoláris rész nem. Ez utóbbi jobban szeretne apolárisabb közegekkel kapcsolatba kerülni, mint pl. a vizes közeggel érintkező levegő, műanyag tartóedény, vagy nem elegendő másik oldószer, pl. sebbenzin. E hatások eredményeként az oldott anyag a határfelületek(b)en próbál felhalmozódni úgy, hogy a részecske poláris része a poláris közeggel, az apoláris része pedig az apoláris közeggel érintkezik. Ezt szemlélteti az 1.1 ábra bal oldali része. Az így viselkedő vegyületeket felületaktív anyagoknak, rövidebb nevükön tenzideknek nevezzük.

Növelve a tenzid analitikai koncentrációját, az amfipatikus részecskék továbbra is a határfelület(b)en próbálnak elhelyezkedni, így az oldat belsejében kisebb mértékben nő az oldott anyag egyensúlyi koncentrációja, mint ahogy az analitikai bemérésekből számolni lehetne. Ennek a jelenségnek sokféle másodlagos hatása is lehet, pl. ha a tenzid ionos, akkor az ellenion koncentrációja sem lesz homogén az oldatban, az is a határfelület közelében dúsul fel az elektrosztatikus vonzás miatt. Ez a folyamat addig folytatódhat, amíg a határfelület telített nem lesz az oldott anyagra nézve. Ezt az állapotot az 1.1 ábra középső része mutatja.

További oldódásra az oldandó anyagnak más módot kell találnia, hiszen a határfelület már megtelt. A tenzidek elkezdnek olyan összetett szerkezeteket képezni, amelyek belsejében az oldott anyag apoláris részei kapcsolódnak másodlagos kötésekkel egymáshoz, míg kifelé az egyedi molekulák poláris részei lépnek kölcsönhatásba a poláris oldószerral.² Ezeket az összetett – általában 30–100 egyedi részecskéből álló – szerkezeteket micellának nevezik. Alakjuk változatos lehet, léteznek gömböt, hengeret, réteget, töruszt közelítő szerkezetek. Mivel a micellák mérete a kolloid mérettartományba (1–1000 nm) esik, ezért a fentiekben részletezett módon oldódó



1.1. ábra. A felületi koncentráció és a micellaképződés változásának szemléltetése egy hosszú apoláris láncú, amfipatikus savanion sója analitikai koncentrációjának (c_a) függvényében, víz-levegő határfelület esetén.

anyagokat, illetve azok micelláit asszociációs kolloidoknak is nevezik. A micellákat jelentős mértékben tartalmazó oldatot az 1.1 ábra jobb oldali része szemlélteti.

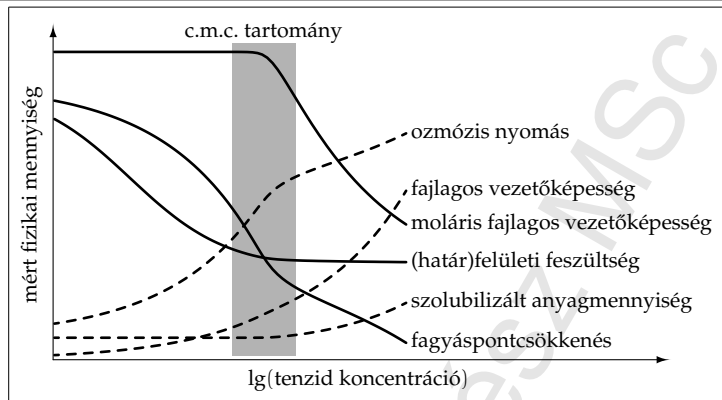
Azt a koncentrációt, amelynél a micellák képződése jelentős – vagyis kísérleti módon kimutatható – mértékben elkezdődik, *kritikus micella koncentrációnak* nevezzük. Ez az érték jellemző az oldott anyagra, és az irodalom (a hivatalos c_m jelölés mellett) a c.m.c., C.M.C., cmc vagy CMC rövidítéseket használja az angol „critical micelle concentration” kifejezés alapján.

A legtöbb (akár magyar, akár angol nyelvű) tankönyv az előző bekezdés első mondatát használja a c.m.c. definíciójaként, de néhány gyakran használt mérési módszer a felület telítettségét vizsgálja, és ebből következtet a micellaképződésre. Ez azonban csak két ki nem mondott feltételt teljesülése esetén lehet érvényes:

1. A felület teljes telítődése a tenziddel ugyanannál az analitikai koncentrációnál következik be, amelynél a micellaképződés elkezdődik. Ez azonban nem szükségszerűen van így. A telítődés és a micellaképződés koncentrációtartománya részben átfedhet egymással, vagy ellenkezőleg; a micellaképződés még nem indul meg a felület telítésekor, ehhez nagyobb egyensúlyi tenzid koncentrációra van szükség. Ilyen esetekben más-más c.m.c. érték határozható meg attól függően, hogy a felületi telítettséggel vagy a micellák koncentrációjával arányos mennyiséget mérünk.
2. Azonos térfogatú és koncentrációjú minta felületének nagysága jelentősen változhat az alkalmazott kísérleti módszertől és elrendezéstől függően. Minden kísérletben van egy jellemző felület/térfogat arány (S/V az angol „surface” és „volume” szavakból), amelytől a c.m.c. értéke függhet, de ettől az aránytól független a c.m.c. értéke a fenti definíció szerint.

¹ Az ilyen részecskéket amfifilnek vagy amfipatikusnak (vagyis kettős oldhatóságúnak) nevezzük.

² Ha az oldószer apoláris, akkor természetesen mindez fordítva történik, belül lesznek a poláris részek. Ez főleg nem ionos tenzidekkel lehetséges, hiszen az ionos tenzidek poláris részei elektrosztatikusan taszítják egymást.



1.2. ábra. A fontosabb c.m.c. meghatározási módszerek által kapható, tipikus alakú kísérleti görbék.

Ezen pontatlanságok miatt a c.m.c. értéke nem annyira jól definiált, mint pl. egy moláris tömeg, moláris abszorbanca, stb., ahogy ezt a hivatalos IUPAC definíció [24] is tükrözi:

„Létezik egy viszonylag szűk koncentrációtartomány, amelynél kisebb koncentrációknál micella gyakorlatilag nem detektálható, és nagyobb koncentrációknál minden további hozzáadott tenzid gyakorlatilag teljesen micellává alakul. A tenzid oldatok sok tulajdonsága eltérő módon változik a koncentráció függvényében a fenti tartomány alatt, illetve felett. Ezen változások extrapolációja egy metszéspontot adhat a fenti koncentrációtartományban, amelynek koncentrációértékét kritikus micella koncentrációnak nevezzük. ... Mivel a különböző tulajdonságok mérése nem teljesen ugyanazt az értéket eredményezi, a c.m.c. meghatározására használt módszert egyértelműen meg kell adni.”

E definíció alapján, egyetlen mérés egy konkrét koncentrációt ad meg a c.m.c. értékeként. Több mérés együttes figyelembevételével azonban nem ezt az értéket pontosítja,³ hanem egy koncentrációtartomány rajzolódik ki, amelynek bármely pontját tekinthetjük a c.m.c. értékének.

1.2. Kísérleti módszerek a c.m.c. meghatározására

A gyakran használt eljárások kísérleti görbéinek jellemző alakjait az 1.2 ábra mutatja be. Ezek a módszerek két nagy csoportba sorolhatók, amelyek közül az első csoportot azok alkotják, amelyek segítségével mért jel valamilyen módon a képződött micellák anyagmennyiségével arányosak.

Konduktometria:

A módszer használhatósága azon alapul, hogy az ionos formában oldódó amfipatikus vegyületek vezetőképessége jelentősen megváltozik, ha micellát képeznek. Ha

³Mint ahogy az általában történt, pl. az egyetemes gázállandó, vagy az Avogadro állandó esetén.

a mért vezetést, fajlagos vezetést, moláris fajlagos vezetést, vagy ezek logaritmusát az oldott tenzid analitikai koncentrációjának (vagy logaritmusának) függvényében ábrázoljuk, akkor olyan görbét kaphatunk, amelynek töréspontja lehet a c.m.c. tartományában (ld. az 1.2 ábrát). Bár ez az egyik legtöbbet használt módszer, nagy hátránya, hogy csak ionos tenzidekre használható. Előnye a gyorsaság és a könnyű kivitelezhetőség.

Kolligatív sajátságok mérése:

A micellák képződésével az oldott részecskék száma máshogy változik az oldott anyag analitikai koncentrációjának függvényében, ahhoz képest, mintha az oldott anyag csak monomer formában létezne. Ezek alapján elvileg bármilyen kolligatív sajátság mérése használható a c.m.c. meghatározására, de a gyakorlatban csak a fagyáspontcsökkenés és az ozmózis nyomás mérése terjedt el. Az 1.2 ábra alapján látható, hogy ezek a módszerek jól meghatározható töréspontokat adnak.

Szolubilizáció:

Egy adott oldószerben gyakorlatilag nem oldódó anyagok oldhatóságát nagymértékben megnövelheti a micellák képződése, ha a micella képes magába zárva oldatban tartani (vagyis szolubilizálni) az oldandó anyagot. A szolubilizált oldott anyag mennyiségének nagymértékű növekedése jelzi, hogy az oldatban jelentős mennyiségben vannak micellák. Ez a jelenség azonban erősen függ az oldószer, az oldandó anyag és az alkalmazott tenzid kémiai tulajdonságaitól, ezért a módszer alkalmazhatóságának határait nehéz megadni. Az 1.2 ábra mutatja, hogy ebben az esetben nem töréspont, hanem egy görbe hirtelen emelkedése adja meg a c.m.c. értékét.

A másik csoportot azok a módszerek alkotják, amelyek a tenzid felületi koncentrációjával arányos jelet adnak. Ebből a felületi feszültség⁴ (jele: γ) számítható. Mivel a felületaktív anyagok a felületi feszültség értékét csökkentik drasztikusan, a felület telítődésekor ez a csökkenés megáll (ld. az 1.2 ábrát). A $\gamma(\lg c)$ görbe egy csökkenő, illetve egy másik, gyakorlatilag vízszintes szakaszra illesztett egyenesek metszéspontja adja a c.m.c. értékét. A felületi feszültség meghatározására a következő módszerek használatosak:

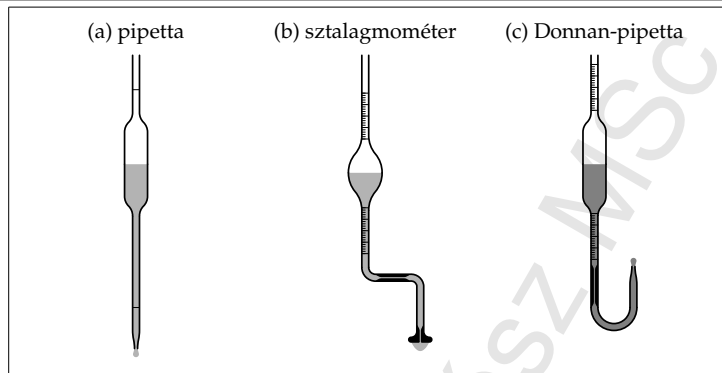
A felületi feszültség közvetlen mérése:

A tenziométerek olyan mérőeszközök, amelyekkel a felületi feszültség közvetlenül mérhető. Többféle elven működhetnek, az egyik gyakori típus a Du Noüy féle gyűrűkiszakítást használja fel. Az ilyen készülékek azt az erőt mérik, ami ahhoz szükséges, hogy egy felület(ben) lévő platina-irídium gyűrűt kiszakítsunk. A készülékek ezt az erőt átszámítják, és közvetlenül mN/m (vagy analóg) egységben jelzik ki.

Cseptömeg meghatározása:

Köztudott, hogy a cseppek azért nem esnek le azonnal, mert a felületi feszültség egy bizonyos tömegig fenntartja ezeket a csepegtető eszköz végén. A lecseppenés pillanatában a gravitáció okozta erő pontosan egyensúlyt tart a felületi feszültséggel,

⁴Emlékeztetőül: definíció szerint a felületi feszültség az az energiameennyiség, ami egységnyi területű új felület létrehozásához szükséges az vizsgált oldat térfogatának és összetételének megváltoztatása nélkül. SI mértékegysége J/m², a gyakorlatban mN/m (=mJ/m²) egységben szokás megadni.



1.3. ábra. Felületi feszültség cseppvizsgálat alapján történő meghatározására szolgáló üvegeszközök.

így a csepptömeg egyenesen arányos a γ értékével:

$$\frac{\gamma_{\text{oldat}}}{\gamma_{\text{oldószer}}} = \frac{m_{\text{egy csepp oldat}}}{m_{\text{egy csepp oldószer}}} \quad (1.1)$$

Eszerint, ha az oldószer felületi feszültségét ismerjük, akkor egyszerű tömegméréssel tetszőleges koncentrációjú oldat felületi feszültsége számolható.

A csepegtetéshez többféle eszköz használható, a fontosabbakat az 1.3 ábra foglalja össze. Az (a) rész a legegyszerűbb eszközt, a pipettát mutatja. Ennek precíz használatát két tényező korlátozza. Egyrészt a csepegés sebességét befolyásolja a hidrosztatikai nyomás, másrészt a viszonylag kicsi csepptömeg miatt sok cseppet kell kieresztetni, hogy pontosan mérhető folyadéktömeget kapjunk. A (b) részben egy speciálisan csepegtetésre tervezett eszköz, a stalagmóméter sematikus rajza látható. Ennek belső csőszűkítései miatt, ezek keresztmetszete határozza meg az átfolyás sebességét, így nem zavar a hidrosztatikai nyomás. A másik előnye, hogy a stalagmóméter csepegtető feje úgy lett kialakítva, hogy nagy cseppek keletkezzenek, így kevés csepp kiengedése is elegendő a pontos tömegméréshez.

Az ábra (c) része egy másik speciális eszközt, a Donnan-pipettát mutatja. Ennek használatára akkor van szükség, ha pl. vízbe kisebb sűrűségű, azzal nem elegyedő folyadékot (pl. sebbenzin) csepegtetünk, akkor a csepp nem le-, hanem felfelé távozik, röviden felcseppen. A Donnan-pipetta speciális alakja ilyen esetekben teszi lehetővé a könnyű cseppszámlálást.

1.3. A gyakorlat kivitelezése

Egyéni gyakorlat-végrehajtás esetén két módszerrel kell végrehajtani a feladatot (pl. csepptömeg meghatározásával és vezetőképesség mérésével), ha a gyakorlatvezető nem ír elő mást. Ha a laboratóriumi gyakorlatot egy hallgatópár végzi, akkor

1.1. táblázat. A készítendő oldatsorozat 100 cm³-re hígítandó térfogatai.

sorozatjel	a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.	j.	k.
V ₁ /cm ³	10	15	20	20	25	25	20	20	40	25	25
V ₂ /cm ³	10	15	20	20	25	25	40	40	40	25	40
V ₃ /cm ³	10	15	40	20	25	40	40	40	40	25	40
V ₄ /cm ³	10	15	40	20	25	40	40	40	40	25	40
V ₅ /cm ³	10	15	40	20	25	25	20	25	20	20	20
V ₆ /cm ³	10	15	40	20	25	25	20	25	20	20	20
V ₇ /cm ³	10	15	20	20	25	20	20	20	20	20	20
V ₈ /cm ³	10	15	10	20	25	20	20	10	10	10	10

ugyanazzal a vegyülettel és módszerekkel, de más koncentrációjú oldatsorozatot (ld. később) mér a két hallgató, és a mért adataikat egyesítve értékelik. Ha a csepptömeg meghatározása is végrehajtandó feladat, akkor azt stalagmóméterrel kell végezni, ha nincs más utasítás. Természetesen, a gyakorlatvezető ezektől tetszőlegesen eltérhet.

1.3.1. A feladat kivitelezése

Ennek a gyakorlatnak a célja egy adott anyag c.m.c. értékének meghatározása több módszerrel, majd a módszerek eredményeinek összehasonlítása egymással és (ha lehetséges) irodalmi adatokkal.

Egy kilenctagú oldatsorozatot készítünk a gyakorlatvezető által kijelölt anyagból, ami (1) 2–6 g WU2 sampon, (2) 3–6 g Johnson & Johnson sampon, (3) 0,5–1,0 g nátrium-dodecil-szulfát (CH₃(CH₂)₁₁SO₄Na) vagy (4) 0,06–0,15 g nátrium-dodecil-benzol-szulfonát (CH₃(CH₂)₁₁C₆H₄SO₄Na) lehet. Ha a gyakorlatvezető mást nem mond, akkor 3 g WU2 sampont kell használni, és az 1.1 táblázat c. sorozatát kell elkészíteni. Ha két hallgató dolgozik párhuzamosan, akkor ugyanazt az (alap esetben c.) sorozatot kell elkészíteni, de a kiindulási oldat tenzid tartalma a 75%-a a másik hallgatóénak (pl. 0,75·3 g=2,25 g). A vizsgálandó oldatsorozat elkészítése a mérésekhez a következő módon történik:

1. Az oldatokat két 100 cm³-es mérőlombik segítségével készítjük el. Mindkét lombiknak (jelöljük ezeket **A**-val és **B**-vel) tisztának kell lennie az oldatkészítések előtt, de vizesek lehetnek.
2. Az **A** lombikban 100 cm³ oldatot készítünk a gyakorlatvezető által kijelölt felületaktív anyagból az adott tömegben. Az oldatkészítés során ügyeljünk arra, hogy az oldat erősen habzik. Nem spriccelünk, csak a lombik belső fala mentén folytatjuk a desztillált vizet; nem rázzuk a lombikot, és ha lehetséges, használjunk ultrahangos keverőt.
3. Az **A** lombikban lévő oldatból V₁ térfogatot (ld. az 1.1 táblázatot) bemérünk a **B** lombikba egy megtisztított és átmosott pipetta segítségével.
4. Jele töltjük a **B** lombikot.

5. Az **A** lombikban maradt oldatot félretesszük egy tiszta száraz Erlenmeyer-lombikba a későbbi mérésekre (minimum 45 cm^3 szükséges), majd tisztára mossuk az **A** lombikot (6–8-szoros átmosás).
6. A fenti 3–5. pontokat megismételjük úgy, hogy az **A** és **B** lombikok ciklusként szerepet cserélnek, valamint az egymást követő ciklusokban a 3. pontban nem V_1 -et, hanem V_2 -t, V_3 -at, stb. használjuk az 1.1 táblázat gyakorlatvezető által kijelölt sorából, vagyis változhat a hígítás mértéke.
7. A fenti eljárást annyiszor ismételjük, hogy 10 különböző koncentrációjú oldatunk legyen (beleértve a kiindulási oldatot és a desztillált vizet is).

Megmérjük az elkészített oldatok alább egyes fizikai-kémiai tulajdonságait a megfelelő eszközökkel és a kijelölt módszerekkel. Legelőször mindig a desztillált vizet mérjük, és utána az oldatokat, szigorúan növekvő koncentráció sorrendjében.

Csepptömeg meghatározása:

A mérendő oldat néhány cm^3 -ével átmossuk a befogatott sztalagmométert (vagy a 10 cm^3 -es pipettát), majd az oldatot felszívjuk úgy, hogy a mérőeszköz hasa 70–90 %-ig legyen tele.⁵ Ezek után 8–13 csepp (pipetta esetén 25–40 csepp) oldatot egy infúziós adagoló segítségével lassan (max. 1 csepp/3 másodperc) engedünk bele egy előre lemért tömegű főzőpohárba, majd megmérjük az együttes tömegüket, és kiszámoljuk egy csepp oldat tömegét. Amennyiben a gyakorlatvezető nem mond mást, a csepyszám legyen 10 a sztalagmométer, és 30 a pipetta esetén.

Felületi feszültség közvetlen mérése:

A félretett oldatok felületi feszültségét megmérjük a tenziométerrel. Minden mérés előtt a mintatartó edényt átmossuk 2–3-szor a mérendő oldat $1\text{--}2 \text{ cm}^3$ -ével, majd pontosan $20,0 \text{ cm}^3$ mérendő oldat felületi feszültségét mérjük meg. Az oldatsorozat megmérése után a mintatartó edény átmérőjét (d_{tm}) is meg kell mérni egy vonalzó vagy tolómérő segítségével.

A műszer használatát a mellékelt leírás és a gyakorlatvezető segítségével sajátítjuk el a mérések előtt.

Konduktometria:

A desztillált vizet, a félretett oldatokat és a rendelkezésre álló $0,01 \text{ M}$ KCl-oldatot konduktométerrel vizsgáljuk. A használandó műszer vagy vezetést (G), vagy fajlagos vezetőképességet (κ) jelez ki, a típusától függően. E két mennyiség között a $\kappa = \text{cellaállandó} \cdot G$ összefüggés adja meg a kapcsolatot. Ennél a gyakorlatnál a cellaállandó értékét nem kellene feltétlenül meghatározni, mert a megméréndő c.m.c. értéket ez nem befolyásolja. Szükség lehet azonban erre az értékre a moláris fajlagos vezetés számolásához, ha a műszer vezetést ad meg, ezért kell az ismert fajlagos vezetésű KCl-oldat.

A mérések végén le kell olvasni a laboratórium hőmérsékletét.

⁵Pipetta esetén lényeges, hogy a cseppetetés minden mérés esetén ugyanolyan magasságról induljon, ezért érdemes egy pontot kijelölni, pl. egy feliratnak az alját.

1.4. A mérési adatok értékelése

- A csepptömegéből és a víz felületi feszültségének (γ_v) laborhőmérsékleten érvényes értékéből kiszámítjuk az egyes koncentrációkhoz tartozó felületi feszültség értékeket a tömegmérés alapján. A Celsius fokban megadott hőmérséklet (t) függvényében a $\gamma_v(t) = -2,7 \times 10^{-4} \cdot t^2 - 0,1406 \cdot t + 75,657$ empirikus képlet megadja a mN/m mértékegységben kifejezett γ_v értékeket $\pm 0,01 \text{ mN/m}$ pontossággal.
- Ha a tenziométer nincs pontosan kalibrálva (a desztillált vízre mért adat jobban eltér az irodalmi adattól, mint $\pm 0,5 \text{ mN/m}$), akkor a tenziométerrel mért adatokat is átszámítjuk a fentiek alapján, az irodalmi értéket alapul véve.
- A mért, valamint a számolandó adatokat az alábbi táblázatban foglaljuk össze, ahol a még nem definiált rövidítések a következők: c_v – koncentráció vegyes-százalékban, c – moláris koncentráció, f_p – főzőpohár, f_{pc} – főzőpohár+cseppek, cs – csepp, k – korrigált, S/V – felület/térfogat arány, t_m – tenziométer, G – vezetés, κ – fajlagos vezetés, Λ_m – moláris fajlagos vezetés. A jegyzőkönyvben a táblázatnak csak azon részeit kell feltüntetni, amelyeknek van szerepe az értékelésben, pl. a moláris koncentrációra nincs szükség samponok mérésekor.

Az S/V értékek számolásához tételezzük fel, hogy a cseppek gömb alakúak, és a folyadék sűrűsége $1,00 \text{ g/cm}^3$ -nek vehető.

A mért vezetésből a többi konduktometriás adat a 12. gyakorlat első két oldalán részletezett kifejezésekkel számolható az F.4 alfejezet és a laboratórium hőmérséklete segítségével.

$m_{\text{anyag}} = \dots \text{ g}, t = \dots ^\circ \text{C},$

c_v ($\frac{\text{g}}{100 \text{ cm}^3}$)	c (M)	$\lg c_v$	$\lg c$	...	m_{fp} (g)	csepp- szám	m_{fpc} (g)	m_{1cs} (g)	γ_{cs} ($\frac{\text{mN}}{\text{m}}$)	$\gamma_{cs,k}$ ($\frac{\text{mN}}{\text{m}}$)	$(S/V)_{cs}$ ($\frac{1}{\text{cm}}$)	...
				...								...

$d_{\text{tm}} = \dots \text{ cm},$

$(S/V)_{\text{tm}} = \dots 1/\text{cm},$

$c_a = \dots 1/\text{m},$

...	γ_{tm} ($\frac{\text{mN}}{\text{m}}$)	$\gamma_{\text{tm,k}}$ ($\frac{\text{mN}}{\text{m}}$)	...	G (S)	G_k (S)	κ (S/m)	Λ_m (S·m ² /mol)	$\lg \kappa$	$\lg \Lambda_m$
...			...						

- Ábrázoljuk egy $\gamma_k - \lg c_v$ diagramon az első két mérési módszerrel kapott görbéket, és határozzuk meg mindegyikből az adott felületaktív anyag c.m.c. értékét/tartományát, tömegkoncentrációban kifejezve. Konduktometriás mérés esetén a $\lg \Lambda_m - \lg c_v$ ábrát készítsük el, ugyanazon a diagramon úgy, hogy a moláris fajlagos vezetés tízes alapú logaritmusát a jobboldali y-tengelyen tüntetjük fel.
- Hasonlítsuk össze az eltérő mérési módszerrel kapott görbéket és c.m.c. értékeket, és próbáljuk meg az (esetleg jelentős) eltéréseket értelmezni, cseppszámlálás esetén az S/V értékeket is megfontolva.

Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk amfipatikus vagy amfifil vegyületnek?
2. Mit nevezünk tenzidnek?
3. Ismertesse 4–5 mondatban a micellaképződés mechanizmusát!
4. Milyen feltételeknek kell teljesülni, hogy a felület telítettségéből a micellaképződésre következtethessünk?
5. Definiálja a kritikus micella koncentrációt!
6. Ismertesse 2–2 mondatban azokat a c.m.c. meghatározási módszereket, amelyeknél a mért jel a micellák anyagmennyiségével arányos!
7. Ismertesse 2–2 mondatban azokat a c.m.c. meghatározási módszereket, amelyeknél a mért jel a felület telítettségével arányos!
8. Milyen cseppszámlálásra alkalmas eszközöket ismer? Adja meg a specialitásokat 1–1 mondatban!
9. Írja le 4–5 mondatban, hogyan készíti el az méréshez az oldatsorozatot!
10. Írja le 4–5 mondatban, hogyan készíti ábrát a mért adataiból!
11. Mekkora egy egységnyi sűrűségű, gömb alakú, 0,08708 g tömegű folyadékcsepp felület/térfogat aránya?