

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ

KATEDRA BIOFYZIKY A FYZIKÁLNÍ CHEMIE

**Studium interakcí neutrální  
červeně a laurylsíranu sodného  
v blízkosti kritické micelární  
koncentrace**

---

Bakalářská práce

2009

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem zpracovala samostatně a uvedla veškeré použité prameny a použitou literaturu.

12. 5. 2009

## **Poděkování**

Touto cestou chci poděkovat svému školiteli Ing. Vladimíru Kubíčkoví, CSc. za velmi vstřícnou odbornou pomoc a užitečné rady během vypracování této bakalářské práce.

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>OBSAH .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>SOUHRN.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1 ÚVOD .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>   | <b>8</b>  |
| 2.1 TENZIDY, SURFAKTANTY .....   | 8         |
| 2.1.1 <i>Charakteristika tenzidů</i> .....   | 8         |
| 2.1.2 <i>Klasifikace tenzidů</i> .....   | 9         |
| 2.1.3 <i>Laurylsíran sodný</i> .....   | 9         |
| 2.2 KRITICKÁ MICELÁRNÍ KONCENTRACE.....  | 10        |
| 2.2.1 <i>Stavba micel</i> .....  | 10        |
| 2.2.2 <i>Stanovení CMC</i> .....   | 11        |
| 2.3 INTERAKCE TENZIDŮ A BARVIV V ROZTOCÍCH .....                                     | 11        |
| 2.3.1 <i>Tvorba agregátů</i> .....   | 12        |
| 2.3.2 <i>Vliv koncentrace tenzidu</i> .....  | 12        |
| 2.3.3 <i>Vliv délky hydrofobních řetězců tenzidů na agregaci</i> .....               | 12        |
| 2.3.4 <i>Vliv elektrostatických interakcí na agregaci</i> .....                      | 13        |
| 2.3.5 <i>Vliv polohy a typu polární skupiny v molekule barviva na agregaci</i> ..... | 13        |
| 2.3.6 <i>J- a H- agregáty</i> .....  | 13        |
| <b>3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>   | <b>15</b> |
| 3.1 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE.....  | 15        |
| 3.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....  | 16        |
| 3.3 PŘÍPRAVA ZÁSOBNÍCH ROZTOKŮ .....   | 16        |
| 3.3.1 <i>Sodium lauryl sulfate, SLS</i> .....  | 16        |
| 3.3.2 <i>Pufr Brittonův- Robinsonův</i> .....  | 16        |
| 3.3.3 <i>Neutrální červeň</i> .....  | 17        |
| 3.4 PRACOVNÍ POSTUP.....   | 17        |
| 3.4.1 <i>Stanovení kritické micelární koncentrace u SLS</i> .....                    | 17        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4.2    | <i>Extrakční spektrofotometrie</i> .....                                    | 19        |
| 3.4.3    | <i>UV-VIS spektrofotometrie</i> .....                                       | 20        |
| 3.4.4    | <i>Spektrofluorimetrie</i> .....  | 20        |
| <b>4</b> | <b>VÝSLEDKY</b> .....   | <b>21</b> |
| 4.1      | VÝSLEDKY STANOVENÍ KRITICKÉ MICELÁRNÍ KONCENTRACE .....                     | 21        |
| 4.1.1    | <i>Vliv iontové síly Brittova- Robinsonova pufru na CMC SLS</i> .....       | 23        |
| 4.1.2    | <i>Vliv pH Brittova-Robinsonova pufru na iontovou sílu vzorků</i> .         | 23        |
| 4.2      | VÝSLEDKY EXTRAKČNÍ SPEKTROFOTOMETRIE .....                                  | 24        |
| 4.2.1    | <i>Výsledky volby vhodné vlnové délky</i> .....                             | 24        |
| 4.2.2    | <i>Výsledky vlivu doby třepání na extrahovatelnost iontových párů</i> ..... | 25        |
| 4.3      | VÝSLEDKY UV-VIS SPEKTROFOTOMETRIE .....                                     | 26        |
| 4.4      | VÝSLEDKY SPEKTROFLUORIMETRIE .....  | 27        |
| <b>5</b> | <b>DISKUZE</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>6</b> | <b>ZÁVĚR</b> .....  | <b>32</b> |
| <b>7</b> | <b>LITERATURA</b> .....   | <b>33</b> |

## SOUHRN

Tato bakalářská práce navazuje na předchozí výzkum na katedře biofyziky a fyzikální chemie v oblasti interakcí barviv a tenzidů v roztocích. Konkrétně se zabývá studiem interakcí neutrální červení a laurylsíranu sodného v roztocích při pH 5,02 a koncentracích laurylsíranu sodného těsně pod kritickou micelární koncentrací. V první části práce byla zjištěna kritická micelární koncentrace laurylsíranu sodného v pufovaném roztoku potenciometrickou metodou s iontově selektivní elektrodou pro tenzidy. Vlastní měření bylo provedeno třemi spektrálními metodami: extrakční spektrofotometrií, UV-VIS absorpční spektrofotometrií a spektrofluorimetrií. Výsledky získané těmito třemi metodami jsou ve velice dobré vzájemné shodě a vyplývá z nich, že před dosažením kritické micelární koncentrace dochází k významným hydrofobním interakcím mezi neutrální červení a laurylsíranem sodným.

# 1 ÚVOD

Tenzidy se uplatňují ve farmaceutické technologii jako pomocné látky, kdy se využívá jejich smáčecích, emulgačních, solubilizačních, detergenčních, pěnicích a stabilizujících vlastností. Ve většině přípravků pak nalezneme i organická barviva, neboť barva je spjata s náladou nebo představou dobré chuti některé poživatiny, může mít uklidňující dojem (barva zelená a modrá).

V dnešní době probíhá mnoho studií zabývajících se interakcemi tenzidů a barviv, protože ne vždy jsou tyto interakce žádoucí.

Tato práce navazuje na poznatky uvedené v diplomové práci Otradovské (1), která se zabývala studiem interakcí laurylsulfátu sodného a neutrální červeně hluboko pod kritickou micelární koncentrací. Ze závěrů této diplomové práce vyplývá, že by bylo užitečné provést experimenty analogické experimentům v uvedené diplomové práci při koncentraci laurylsulfátu sodného těsně pod kritickou micelární koncentrací, kdy již může docházet k významnému shlukování většího počtu molekul tenzidu.

Cílem mé bakalářské práce proto bylo provést experimenty, které mají blíže prozkoumat interakci laurylsulfátu sodného a neutrální červeně v uvedené oblasti. V práci jsou použity stejné spektrální metody, které používala Otradovská (extrakční spektrofotometrie, UV-VIS absorpční spektrofotometrie a spektrofluorimetrie). Navíc ovšem bylo nutné vyšetřit vliv použitého Brittonova-Robinsonova pufru na hodnotu kritické micelární koncentrace laurylsulfátu sodného. K tomu byla použita již dříve prověřená potenciometrická metoda.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Tenzidy, surfaktanty

#### 2.1.1 Charakteristika tenzidů (2)

Tenzidy, též zvané surfaktanty, jsou povrchově aktivní látky. To znamená, že už při nízkých koncentracích mění energetické poměry na fázovém rozhraní. Díky interakcím s disperzním prostředím snižují povrchové napětí.

Vlastnosti tenzidů jsou dány chemickou strukturou a fyzikálním charakterem. Z fyzikálního hlediska se jedná o látky asymetrického dipolárního charakteru s výrazným dipólovým momentem. Z chemického hlediska rozlišujeme v molekule tenzidu část hydrofobní a část hydrofilní. Proto jsou tyto látky označovány jako amfipatické (difilní).

Část hydrofobní, neboli nepolární, jak už sám název napovídá, odpuzuje vodu, v jejíž přítomnosti se snaží vytvořit seskupení s ostatními jí podobnými složkami v systému tak, aby jejich vzájemná orientace umožnila tvorbu tzv. hydrofobních kontaktů prostřednictvím nevazebných interakcí. Vznik kontaktů vede k vytlačení vody. Nepolární část je tvořena uhlovodíkovými alifatickými řetězci alkanů a alkenů o minimální délce  $C_8$ , či zbytky aromatických sloučenin, jako je benzen, naftalen, apod.

Hydrofilní jsou naopak polární části molekul tenzidů, které mají velkou afinitu k vodě a ve vodném prostředí jsou tedy hydratovány. Voda je na tuto skupinu vázána prostřednictvím vodíkových můstků a lze říci, že kolem ní vytváří solvatační obal. Hydrofilní část udává celkový iontový charakter molekuly tenzidu. Polární skupina může ve vodném roztoku disociovat, viz kap. 2.1.2. Obsahuje atomy s velkou elektronegativitou, tedy O, N, S, P či halogeny. Nejčastěji se vyskytujícími skupinami jsou  $-OSO_3H$ ,  $-SO_3H$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$  a kvartérní dusík.

Difilnost způsobuje, že v roztocích tenzidů se uplatňují vzájemné interakce vanderwaalsovského charakteru nejen mezi molekulami tenzidu, ale i mezi molekulami tenzidu a rozpouštědla.



## 2.1.2 Klasifikace tenzidů (2)

Nejrozšířenější třídění je založeno na schopnosti disociace ve vodném prostředí:

A) Iontové tenzidy obsahují funkční skupiny, které ve vodném prostředí uvolňují kationty či anionty. Dle toho jsou děleny do 3 podkupin:

- Anionové tenzidy jsou látky, kde nositelem povrchové aktivity je aniont, proti němu stojí malý kationt, nejčastěji sodný.
- U kationových tenzidů je hydrofilní povrchově aktivní část tvořena kationtem. Řadí se sem kvartérní amoniové soli.
- Amfolytické tenzidy obsahují dvě či více kyselých a zásaditých skupin, které disociují v závislosti na pH prostředí. Při vysokých hodnotách pH se chovají jako aniontové, naopak při nízkém pH jako kationové. Nejznámější z této skupiny jsou betainy.

B) Neiontové tenzidy nemají schopnost disociace. Z chemického hlediska se jedná nejčastěji o ethery.

## 2.1.3 Laurylsíran sodný

Laurylsíran sodný, dle INCI (International Nomenclature of Cosmetic Ingredients) terminologie zvaný sodium lauryl sulfate, je aniontový tenzid. Hydrofóbní část je tvořena dvanáctiuhlíkovým alifatickým řetězcem. Hydrofilní část představuje sodná sůl aniontu kyseliny sírové. Největší uplatnění našel v oblasti kosmetologie, neboť je jednou z hlavních surovin pro výrobu sprchových gelů a šamponů.

## **2.2 Kritická micelární koncentrace (3)**

Molekuly tenzidu se sdružují do tzv. micel v závislosti na svém množství (koncentraci). Kritická micelární koncentrace (dále jen CMC) je nejnižší koncentrace, při níž se začínají molekuly tenzidu shlukovat do micel. Micely vznikají díky přitažlivým silám mezi hydrofobními konci molekul tenzidu – díky hydrofobním interakcím. V soustavě vzniká nová fáze voda-tenzid, tzv. pseudofáze, o limitní disperzitě. Vznik micel je děj vratný, to znamená, že po naředění roztoku micely zanikají a vzniká opět pravý roztok.

CMC je pro daný tenzid závislá na teplotě a na případném přidavku elektrolytů v roztoku. V případě ionogenních tenzidů se stoupající teplotou stoupá i CMC vlivem deagregačního účinku tepelného pohybu molekul. U neionogenních tenzidů je tomu naopak, se stoupající teplotou klesá CMC, neboť se přerušují vodíkové vazby mezi atomy kyslíku oxyethylenového řetězce a vodou, tím se tyto řetězce dehydratují a zvyšuje se schopnost agregace.

### **2.2.1 Stavba micel**

Jedna micela obsahuje zpravidla 50 až 100 molekul tenzidů, ve vysoce koncentrovaných roztocích tenzidů může jedna molekula obsahovat i 1000 molekul tenzidu.

Při koncentraci o něco málo vyšší než je CMC se tvoří tzv. Hartleyovy micely, což jsou sférické agregáty, v nichž jsou uhlovodíkové řetězce propleteny a polární skupiny směřují do rozpouštědla, kterým je v tomto případě voda. Průměr této micely je dvakrát delší než rozměr jedné molekuly tenzidu, z kterého je tvořena.

Laminární micely, nazývané též podle svého objevitele McBainovy, se tvoří při větších koncentracích, než je CMC. Tyto micely jsou tvořeny dvěma vrstvami tenzidů, přičemž uhlovodíkové řetězce jsou orientovány k sobě a ionogenní skupiny směrem ven. Při dostatečné koncentraci roztoku mohou přecházet v gel tvořený mikroskopicky pozorovatelnými pásy.

Micely se tvoří nejen ve vodných roztocích, ale i v roztocích uhlovodíků, kde jsou molekuly tenzidů orientovány opačně, tudíž nepolární řetězec směřuje ven a ionogenní skupina dovnitř agregátu.

### **2.2.2 Stanovení CMC**

Při stanovení CMC se využívá toho, že při tvorbě micel se mění řada fyzikálně-chemických vlastností, jako je vodivost, povrchové napětí, osmotický tlak, hustota a další. Nefelometricky byl zjištěn zvýšený rozptyl světla, neboť se homogenní soustava mění na heterogenní. Závislost osmotického koeficientu na koncentraci vykazuje křivku s třemi oblastmi: podkritickou, kde se koeficient prudce mění s koncentrací, kritickou, což je bod, kde se mění oblasti křivky odpovídající CMC a nadkritickou, která je rovnoběžná s osou koncentrace.

### **2.3 Interakce tenzidů a barviv v roztocích**

Mnoho experimentů se zabývá problematikou interakcí tenzidů a barviv. Většina z nich využívá spektrálních metod k posouzení absorpčního spektra studovaného barviva v závislosti na přítomnosti tenzidů.

R. T. Buwalda a kol. studovali vliv koncentrace různých tenzidů (např. N-alkyltrimethylamoniumbromidu) na absorpční spektra barviv jako je methylovanž, ethylovanž, čímž zjistili, že při koncentraci tenzidu pod CMC se v absorpčním spektru barviva nacházejí největší změny. (4)

R. K. Dutta a S. N. Bhat (5) sledovali změny v absorpčním spektru methylovanže po přidavku neionogenního tenzidu Tritonu X-100 a po přidavku kationického tenzidu N-hexadecylpyridiniumchloridu. Ve své studii došli k závěru, že interakce mezi barvivem a tenzidy jsou elektrostatické i hydrofobní (6).

Také indiští autoři, kteří se zaměřili na interakce porfyrinových barviv a tenzidů, uvádí vliv elektrostatických přitažlivých sil a hydrofobních řetězců na agregaci. (7)

### 2.3.1 Tvorba agregátů

Důsledkem interakcí tenzidů a barviv je vznik agregátů. Agregace je umožněna coulombovským přitahováním iontů tenzidu a opačných nábojů aromatických molekul, což způsobuje vznik elektroneutrálních agregátů. (4) Autoři publikace (4) pozorovali ve vodných roztocích methylované a methylčerveně s tenzidem o koncentraci nižší než CMC sraženinu tvořenou krystaly ekvimolárního množství tenzidu a barviva. Před vznikem sraženiny je pozorován absorpční pás krátké vlnové délky. Jeho původ vědci stále zkoumají. R. K. Dutta a S. N. Bhat se domnívají, že tento pás je zaznamenáván díky vzniku iontového páru kationového tenzidu a aniontu methylované. (5) Toto ovšem holandské vědci odmítají a poukazují na malou pravděpodobnost, že by se iontový pár tvořil jen při nízkých koncentracích tenzidu. To potvrzují i výsledky práce (8).

### 2.3.2 Vliv koncentrace tenzidu

Zvyšováním koncentrace tenzidu našli Buwalda a kol. v absorpčním spektru methylované nový absorpční pás v oblasti 380 nm. Dalším koncentrováním tenzidu stoupala intenzita tohoto pásu až do vytvoření absorpčního pásu při vlnové délce 430 nm. V tuto chvíli začala intenzita klesat. Tato vlnová délka odpovídá methylované vázané na micely kationického tenzidu. (4)

### 2.3.3 Vliv délky hydrofobních řetězců tenzidů na agregaci

Velký význam hydrofobních interakcí při tvorbě agregátů byl prokázán studiem změn absorpčních spekter methylované za použití tenzidů s různě dlouhými uhlíkatými řetězci. V případě užití decyltrimethylamonium bromidu (kratší řetězec) spektrum methylované nebylo ovlivněno. Naopak v přítomnosti dodecyltrimethylamonium bromidu (delší řetězec) dochází k interakcím s methylovanou, které se pak ve spektru objevují v podobě nového absorpčního pásu v oblasti 380 nm. (4)

### **2.3.4 Vliv elektrostatických interakcí na agregaci**

V soustavě tvořené cetyltrimethylamoniumbromidem (tenzid) a methyloranží (azobarvivo) ve vodném prostředí byl pozorován vliv iontové síly, měnící se v závislosti na koncentraci chloridu sodného, na absorpční spektrum barviva. Při zvyšující se koncentraci chloridu a tudíž i rostoucí iontové síle v roztoku dochází ke zmenšování absorpčního pásu v oblasti 380 nm. (4) Tímto byl vliv elektrostatických interakcí na proces tvorby agregátů potvrzen.

R. K. Dutta a S. N. Bhat také zjistili, že kationické tenzidy způsobují změny v absorpčních spektrech aniontových barviv, ovšem v případě souhlasně nabitých tenzidů i barviv k interakcím nedojde a tudíž absorpční spektrum barviva zůstává nezměněno. Svými pokusy potvrdili domněnku, že agregáty s barvivy mohou tvořit i neionogenní tenzidy. (5)

### **2.3.5 Vliv polohy a typu polární skupiny v molekule barviva na agregaci**

Poloha polární skupiny má významnější vliv na interakce tenzidu a barviva než typ této skupiny. Sledováním barviva s polární skupinou v poloze para (methyloranž) byly zjištěny výraznější spektrální posuny než u methylčerveně, jejíž karboxylová skupina se nachází v poloze ortho vůči azoskupině, nebo u methylžluti, kde polární skupina zcela chybí. Poloha absorpčního maxima se totiž posunuje od vlnové délky absorpčního maxima methylčerveně a methylžluti k vlnové délce absorpčního maxima azobarviva vázaného na micely tenzidu. (4)

### **2.3.6 J- a H- agregáty**

Indičtí autoři (7) studovali interakce porfyrinových barviv s tenzidy a to kationickými (cetyltrimethylamoniumbromid), anionickými (dodecylsulfátem sodným) i neionogeními (Triton X- 100). Zjistili, že v případě koncentrace tenzidů pod CMC dochází k tvorbě premicelárních agregátů, což bylo dokázáno nálezem dvou či více isobestických bodů v absorpčním spektru. Jakmile se koncentrace tenzidů blíží k CMC, tyto agregáty se rozpadají a molekuly barviva jsou

zabudovány do micel tenzidu. Na absorpčním spektru je pak zaznamenán jeden isobestický bod.

Rozlišují se nespecifické agregáty a agregáty vysoce uspořádané J- a H- typu. O nespecifických agregátech se mluví v případě, že posun absorpčního pásu je nepatrný a tvorba agregátu tedy není ve spektru zřetelná. Vysoce uspořádané agregáty mají specifické spektroskopické vlastnosti a tvoří se při různých koncentracích tenzidu. J- agregáty, které někdy předchází tvorbě H- agregátů, se tvoří při dvojnásobné koncentraci tenzidu oproti koncentraci porfyrinového barviva. Jejich vznik se v absorpčním spektru projeví vytvořením nového absorpčního pásu, užšího vůči absorpčnímu pásu samotného barviva a především bathochromně posunutého. Dalším zvyšováním koncentrace tenzidu dochází k destabilizaci těchto agregátů. Když koncentrace tenzidu dosáhne čtyřnásobku koncentrace barviva, J- agregáty mizí a vzniká nový typ H- agregáty, jejichž absorpční pás je charakterizován hypsochromním posunem. (7)

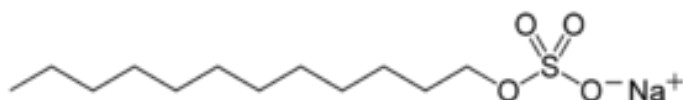
## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 Použité chemikálie

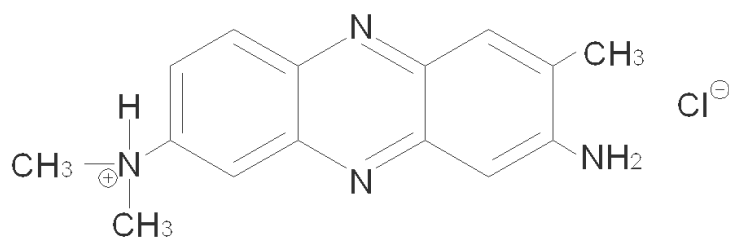
Při experimentální práci bylo užito těchto chemikálií:

- ultračistá voda připravená reverzní osmózou
- lihometanol
- hydroxid sodný, Lachema a. s., Neratovice, Mr= 40
- kyselina octová, Lachema a. s., Neratovice, Mr= 60
- kyselina fosforečná, Lachema a. s., Neratovice, Mr= 98
- kyselina boritá, Lachema a. s., Neratovice, Mr= 62
- laurylsíran sodný (viz vzorec č. 1), Lachema a. s., Neratovice, užitá zkratka SLS, Mr= 288,38
- neutrální červeň (viz vzorec č. 2), Lachema n.p. Brno, užitá zkratka NČ, Mr= 252,3

Vzorec 1: Laurylsíran sodný



Vzorec 2: Neutrální červeň



## **3.2 Použité přístroje**

K experimentům bylo užito těchto přístrojů:

- digitální analytické váhy – Sartorius
- spektrofotometr HP 8453 – Hewlet Packard
- spektrofluorimetr AMINCO- Bowman Series 2
- spektrofotometr Spekol – Carl Zeiss Jena
- mechanická třepačka LT - 2 – Kavalier Sázava
- pH-metr PerpHect 350 – ORION

## **3.3 Příprava zásobních roztoků**

### **3.3.1 Sodium lauryl sulfate, SLS**

Nejprve byl připraven zásobní roztok SLS o koncentraci 0,05 mol/l navážením 3,6051 g na analytických vahách. Navážka byla rozpuštěna a kvantitativně převedena do odměrné baňky, roztok byl posléze doplněn po rysku na objem 250 ml.

Roztok o koncentraci  $5 \cdot 10^{-3}$  mol/l byl připraven odpipetováním 2,5 ml ze zásobního roztoku a doplněním po rysku na objem 25 ml v odměrné baňce.

### **3.3.2 Pufr Brittonův- Robinsonův**

Tento pufr se připravuje ze zásobního roztoku směsi tří kyselin a to kyseliny octové, fosforečné a borité. Všechny kyseliny mají v tomto roztoku koncentraci 0,04 M. Roztok byl připraven navážením 7,8400 g  $H_3PO_4$ , 4,8000 g  $CH_3COOH$ , 4,9600 g  $H_3BO_3$ , navážky byly rozpuštěny v destilované vodě a v odměrné baňce doplněny na 2000 ml.

Ke 100 ml této směsi se těsně před použitím přidává adekvátní množství hydroxidu sodného, dle tabulek (9) a tím se pH upraví na požadovanou hodnotu. Byly používány pufrы o hodnotách pH uvedených v tabulce 1.

Z navážky 8,0027 g pevného hydroxidu sodného byl připraven zásobní roztok do 1000 ml odměrné baňky. Výsledná koncentrace 0,20125 mol/l byla



posléze zjištěna pomocí titračního stanovení s kyselinou chlorovodíkovou. Tento roztok byl pak používán v konečné fázi přípravy Brittonových-Robinsonových pufrů (BR pufrů), viz výše.

**Tabulka 1: Příprava BR pufru**

| pH BR pufru | V zásobního roztoku NaOH [ml] |
|-------------|-------------------------------|
| 5,02        | 35                            |
| 9,37        | 72,5                          |
| 10,88       | 82,5                          |

### 3.3.3 Neutrální červeně

Navážení 0,1577 g NČ, následným rozpuštěním v destilované vodě a doplněním v odměrné baňce na objem 25 ml byl připraven zásobní roztok neutrální červeně o koncentraci 0,025 mol/l.

Roztok NČ o koncentraci  $2 \cdot 10^{-4}$  mol/l byl připraven odpipetováním 0,2 ml ze zásobního roztoku NČ o koncentraci 0,025 mol/l do odměrné baňky a doplněním na objem 25 ml.

## 3.4 Pracovní postup

### 3.4.1 Stanovení kritické micelární koncentrace u SLS

Kritická micelární koncentrace byla stanovena u roztoků SLS s pufrům Brittona-Robinsona o třech hodnotách pH. Vzorky byly připraveny dle následujících tabulek 2, 3, 4. Výsledný objem jednoho vzorku byl 50 ml, což je dostačující objem pro měření elektromotorického napětí (EMN).

Vzorky byly umístěny do kádinek, ve kterých probíhalo vlastní měření. Roztok byl neustále míchán pomocí magnetického míchadla. Měření bylo prováděno pomocí pH-metru ORION. Elektrodový systém byl tvořen měrnou membránovou elektrodou Orion 9342BN a srovnávací elektrodou s dvojitým můstkem Orion 900200. Po ustálení elektromotorického napětí byla zapsána naměřená hodnota.

**Tabulka 2: Vzorky s pufrem o pH 5,02**

| Číslo vzorku | V SLS [ml] | V pufre BR o pH= 5,02 [ml] | V vody [ml] | c SLS [mol/l]       |
|--------------|------------|----------------------------|-------------|---------------------|
| 1            | 12         | 30                         | 8           | $1,2 \cdot 10^{-2}$ |
| 2            | 11         | 30                         | 9           | $1,1 \cdot 10^{-2}$ |
| 3            | 10         | 30                         | 10          | $1 \cdot 10^{-2}$   |
| 4            | 9          | 30                         | 11          | $9 \cdot 10^{-3}$   |
| 5            | 8          | 30                         | 12          | $8 \cdot 10^{-3}$   |
| 6            | 7          | 30                         | 13          | $7 \cdot 10^{-3}$   |
| 7            | 6          | 30                         | 14          | $6 \cdot 10^{-3}$   |
| 8            | 5          | 30                         | 15          | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| 9            | 4          | 30                         | 16          | $4 \cdot 10^{-3}$   |
| 10           | 3          | 30                         | 17          | $3 \cdot 10^{-3}$   |

**Tabulka 3: Vzorky s pufrem o pH 9,37**

| Číslo vzorku | V SLS [ml] | V pufre BR o pH= 9,37 [ml] | V vody [ml] | c SLS [mol/l]        |
|--------------|------------|----------------------------|-------------|----------------------|
| 1            | 6          | 30                         | 14          | $6 \cdot 10^{-3}$    |
| 2            | 5          | 30                         | 15          | $5 \cdot 10^{-3}$    |
| 3            | 4          | 30                         | 16          | $4 \cdot 10^{-3}$    |
| 4            | 3          | 30                         | 17          | $3 \cdot 10^{-3}$    |
| 5            | 2          | 30                         | 18          | $2 \cdot 10^{-3}$    |
| 6            | 1          | 30                         | 19          | $1 \cdot 10^{-3}$    |
| 7            | 0,5        | 30                         | 19,5        | $5 \cdot 10^{-4}$    |
| 8            | 0,25       | 30                         | 19,75       | $2,5 \cdot 10^{-4}$  |
| 9            | 0,125      | 30                         | 19,875      | $1,25 \cdot 10^{-4}$ |
| 10           | 0,0625     | 30                         | 19,9375     | $6,25 \cdot 10^{-5}$ |

**Tabulka 4: Vzorky s pufrům o pH 10,88**

| Číslo vzorku | V SLS[ml] | V pufru BR o pH= 10,88 [ml] | V vody [ml] | c SLS[mol/l]          |
|--------------|-----------|-----------------------------|-------------|-----------------------|
| 1            | 5         | 30                          | 15          | $5 \cdot 10^{-3}$     |
| 2            | 4         | 30                          | 16          | $4 \cdot 10^{-3}$     |
| 3            | 3         | 30                          | 17          | $3 \cdot 10^{-3}$     |
| 4            | 2         | 30                          | 18          | $2 \cdot 10^{-3}$     |
| 5            | 1         | 30                          | 19          | $1 \cdot 10^{-3}$     |
| 6            | 0,5       | 30                          | 19,5        | $5 \cdot 10^{-4}$     |
| 7            | 0,25      | 30                          | 19,75       | $2,5 \cdot 10^{-4}$   |
| 8            | 0,125     | 30                          | 19,875      | $1,25 \cdot 10^{-4}$  |
| 9            | 0,0625    | 30                          | 19,9375     | $6,25 \cdot 10^{-5}$  |
| 10           | 0,03125   | 30                          | 19,96875    | $3,125 \cdot 10^{-5}$ |

### 3.4.2 Extrakční spektrofotometrie

#### 3.4.2.1 Volba vhodné vlnové délky

U vzorku připraveného z 0,02 ml NČ o koncentraci  $2,5 \cdot 10^{-3}$  mol/l, 0,98 ml vody, 1 ml SLS o koncentraci  $0,5 \cdot 10^{-3}$  mol/l a 3 ml BR pufru o pH 5,02 byla změřena absorbance při 5 vlnových délkách v rozsahu 520 - 560 nm.

#### 3.4.2.2 Extrakční spektrofotometrie

Bylo připraveno devět vzorků do zkumavek o výsledném objemu 10 ml. Do každé zkumavky byl napipetován 1 ml neutrální červeně o koncentraci  $2 \cdot 10^{-4}$  mol/l, dále 3 ml pufru dle Brittona-Robinsona o pH 5,02, 1 ml SLS o různých koncentracích dle tabulky č. 5 a nakonec bylo přidáno 5 ml chloroformu. Koncentrace NČ v 5 ml je tedy  $4 \cdot 10^{-5}$  mol/l.

Poté byly zkumavky se vzorky ponechány 20 minut třepat na třepačce a po 10 minutovém stání byla změřena absorbance. Třepání bylo opakováno ještě 3x po 20ti minutách a vždy byla změřena absorbance. Absorbance byla měřena při vlnové délce 530 nm. Absorbance byla měřena proti slepému vzorku, který

byl zhotoven z 1 ml NČ o koncentraci  $2 \cdot 10^{-4}$  mol/l, 3 ml pufru dle Brittona-Robinsona o pH 5,02, 1 ml destilované vody a 5 ml chloroformu.

**Tabulka 5: Koncentrační řada SLS**

| Číslo vzorku | V SLS [ml] | V vody [ml] | c SLS [mol/l]       |
|--------------|------------|-------------|---------------------|
| 1            | 0,5        | 0,5         | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| 2            | 0,4        | 0,6         | $4 \cdot 10^{-3}$   |
| 3            | 0,3        | 0,7         | $3 \cdot 10^{-3}$   |
| 4            | 0,2        | 0,8         | $2 \cdot 10^{-3}$   |
| 5            | 0,1        | 0,9         | $1 \cdot 10^{-3}$   |
| 6            | 0,08       | 0,92        | $0,8 \cdot 10^{-3}$ |
| 7            | 0,06       | 0,94        | $0,6 \cdot 10^{-3}$ |
| 8            | 0,04       | 0,96        | $0,4 \cdot 10^{-3}$ |
| 9            | 0,02       | 0,98        | $0,2 \cdot 10^{-3}$ |

### 3.4.3 UV-VIS spektrofotometrie

Do každé z 9 kádinek byl napipetován 1 ml neutrální červeně o koncentraci  $2 \cdot 10^{-4}$  mol/l, dále 3 ml pufru dle Brittona-Robinsona o pH 5,02 a 1 ml SLS o různých koncentracích dle tabulky 5. Celkový objem vzorku tudíž byl 5 ml a koncentrace NČ v něm byla  $4 \cdot 10^{-5}$  mol/l. Slepý vzorek byl zhotoven stejným způsobem, přičemž SLS byl nahrazen 1 ml vody. U vzorků byla změřena absorpční spektra proti slepému vzorku.

### 3.4.4 Spektrofluorimetrie

Pro spektrofluorimetrická měření bylo užito stejných vzorků jako pro UV-VIS spektrofotometrii. Emisní spektra byla získána změřením vzorků č. 1 -9.

## 4 VÝSLEDKY

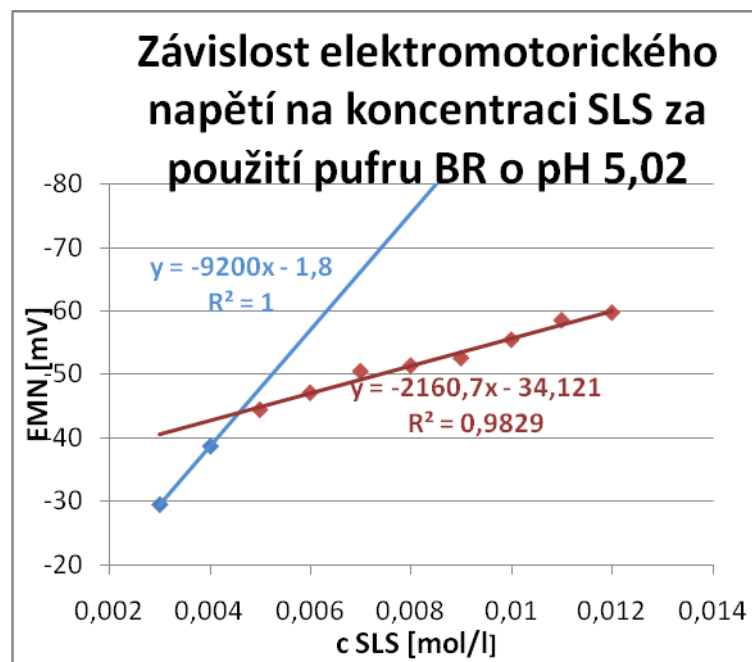
### 4.1 Výsledky stanovení kritické micelární koncentrace

V tabulkách 6, 7, 8 jsou naměřená elektromotorická napětí, získaná měřením v roztocích vzorků připravených dle kap. 3.4.1. V oblasti kritické micelární koncentrace se mění fyzikálně-chemické vlastnosti tenzidu, proto v grafu závislosti napětí na koncentraci SLS se nachází ohyb, v jehož oblasti se předpokládá CMC. Ta se poté zjišťuje metodou dvou přímek, kdy první částí bodů o určitém sklonu se vede první přímka, v druhé části kde se sklon mění, se vede druhá přímka. Místo, kde se přímky protínají, udává kritickou micelární koncentrací. Ta se může odečíst přímo z osy x. Přesnější metodou je však výpočet pomocí regresních rovnic přímky. Grafická znázornění naměřených hodnot s příslušnými regresními rovnicemi přímek se nalézají na obrázcích 1, 2, 3.

Tabulka 6: Závislost EMN na koncentraci tenzidu pH 5,02

| c SLS<br>[mol/l]    | EMN<br>[mV] |
|---------------------|-------------|
| $1,2 \cdot 10^{-2}$ | - 57,8      |
| $1,1 \cdot 10^{-2}$ | - 58,6      |
| $1 \cdot 10^{-2}$   | - 55,5      |
| $9 \cdot 10^{-3}$   | - 52,6      |
| $8 \cdot 10^{-3}$   | - 51,4      |
| $7 \cdot 10^{-3}$   | - 50,5      |
| $6 \cdot 10^{-3}$   | - 47,1      |
| $5 \cdot 10^{-3}$   | - 44,4      |
| $4 \cdot 10^{-3}$   | - 38,6      |
| $3 \cdot 10^{-3}$   | - 29,4      |

Obrázek 1: Graf k určení CMC SLS za použití pufru BR o pH 5,02

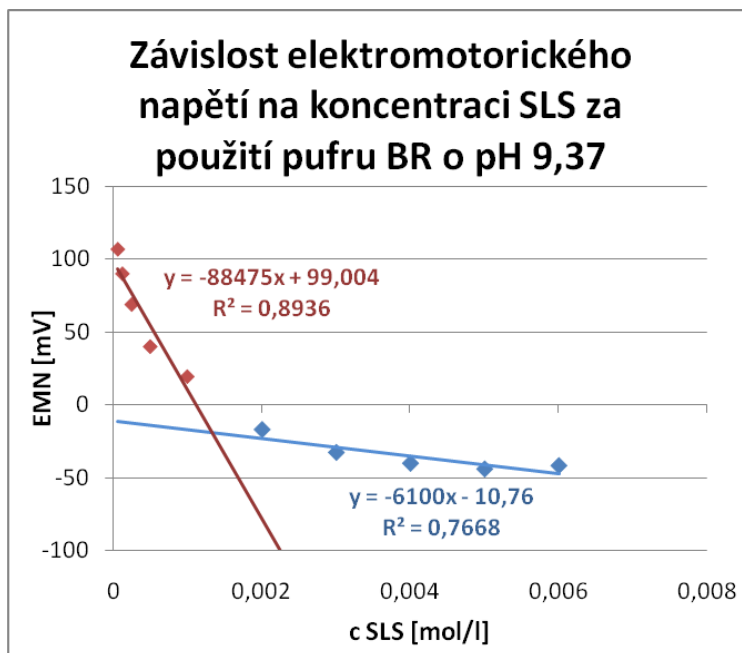


Pro vzorky s BR pufrům o pH 5,02 byla pomocí regresních rovnic přímek zjištěna kritická micelární koncentrace CMC = 0,0046 mol/l.

**Tabulka 7: Závislost EMN na koncentraci tenzidu pro pH 9,37**

| c SLS [mol/l]        | EMN [mV] |
|----------------------|----------|
| $6 \cdot 10^{-3}$    | - 41,8   |
| $5 \cdot 10^{-3}$    | - 44,1   |
| $4 \cdot 10^{-3}$    | - 40,2   |
| $3 \cdot 10^{-3}$    | - 32,7   |
| $2 \cdot 10^{-3}$    | - 17,0   |
| $1 \cdot 10^{-3}$    | 19,1     |
| $5 \cdot 10^{-4}$    | 39,7     |
| $2,5 \cdot 10^{-4}$  | 68,6     |
| $1,25 \cdot 10^{-4}$ | 89,7     |
| $6,25 \cdot 10^{-5}$ | 106,5    |

**Obrázek 2: Graf k určení CMC SLS za použití pufru o pH 9,37**

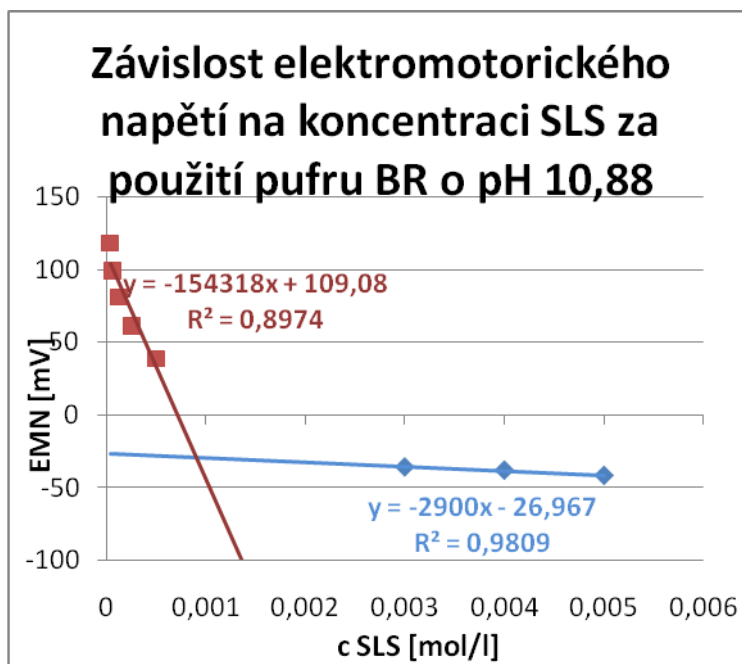


Pro vzorky s pufrům BR o pH 9,37 byla pomocí regresních rovnic přímek zjištěna kritická micelární koncentrace CMC = 0,00133 mol/l.

**Tabulka 8: Závislost EMN na koncentraci tenzidu pro pH 10,88**

| c SLS [mol/l]         | EMN [mV] |
|-----------------------|----------|
| $5 \cdot 10^{-3}$     | - 41,7   |
| $4 \cdot 10^{-3}$     | - 38,1   |
| $3 \cdot 10^{-3}$     | - 35,9   |
| $2 \cdot 10^{-3}$     | - 24,7   |
| $1 \cdot 10^{-3}$     | 13,2     |
| $5 \cdot 10^{-4}$     | 38,4     |
| $2,5 \cdot 10^{-4}$   | 60,6     |
| $1,25 \cdot 10^{-4}$  | 80,7     |
| $6,25 \cdot 10^{-5}$  | 98,8     |
| $3,125 \cdot 10^{-5}$ | 117,4    |

**Obrázek 3: Graf k určení CMC SLS za použití pufru o pH 10,88**



Pro vzorky s pufrem BR o pH 10,88 byla pomocí regresních rovnic přímek zjištěna kritická micelární koncentrace  $CMC = 0,00089 \text{ mol/l}$ .

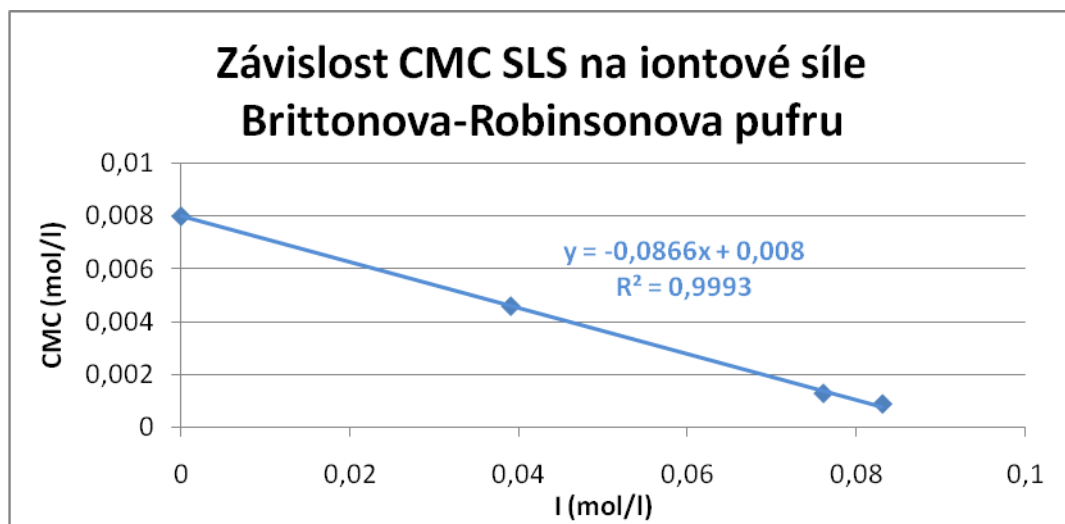
#### 4.1.1 Vliv iontové síly Brittova- Robinsonova pufru na CMC SLS

Zjištěné hodnoty CMC SLS při různých hodnotách pH, uvedené v tabulce 9, byly vneseny do grafu na obrázku 4 v závislosti na iontové síle daného vzorku. Hodnoty iontových sil vzorků byly získány z měření provedeného v diplomové práci Opravilové (10).

Tabulka 9: Iontová síla roztoku vzorku při daném pH a příslušná zjištěná CMC

| pH    | I (mol/l) | CMC (mol/l) |
|-------|-----------|-------------|
|       | 0         | 0,008       |
| 5,02  | 0,039     | 0,0046      |
| 9,37  | 0,076     | 0,0013      |
| 10,88 | 0,083     | 0,0009      |

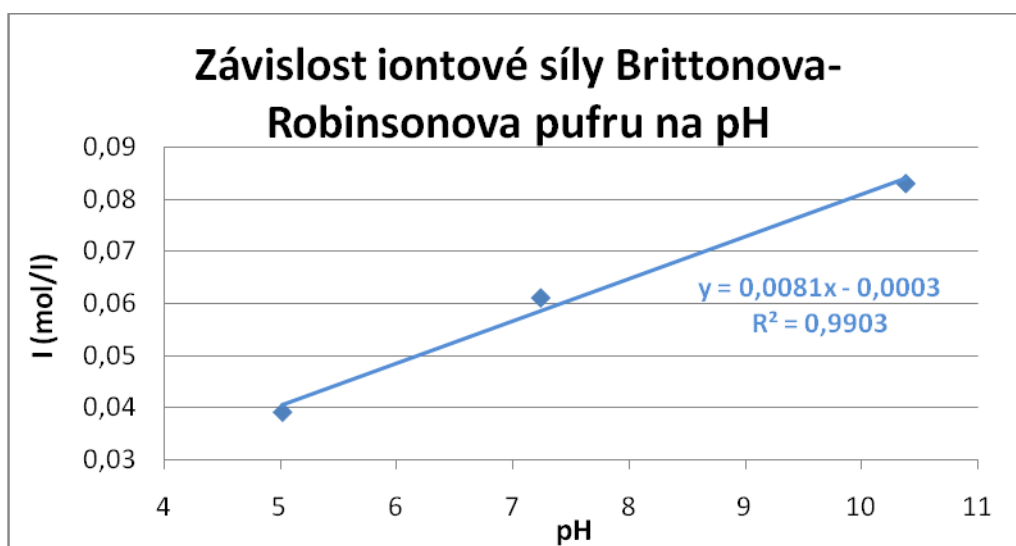
Obrázek 4: Vliv iontové síly roztoku na CMC



#### 4.1.2 Vliv pH Brittova-Robinsonova pufru na iontovou sílu vzorků

Hodnoty iontové síly vzorků s pufrem Brittona-Robinsona o různých pH uvedené v tabulce 9, byly vneseny do grafu na obrázku 5 v závislosti na příslušném pH.

Obrázek 5: Vliv pH na iontovou sílu roztoku



## 4.2 Výsledky extrakční spektrofotometrie

### 4.2.1 Výsledky volby vhodné vlnové délky

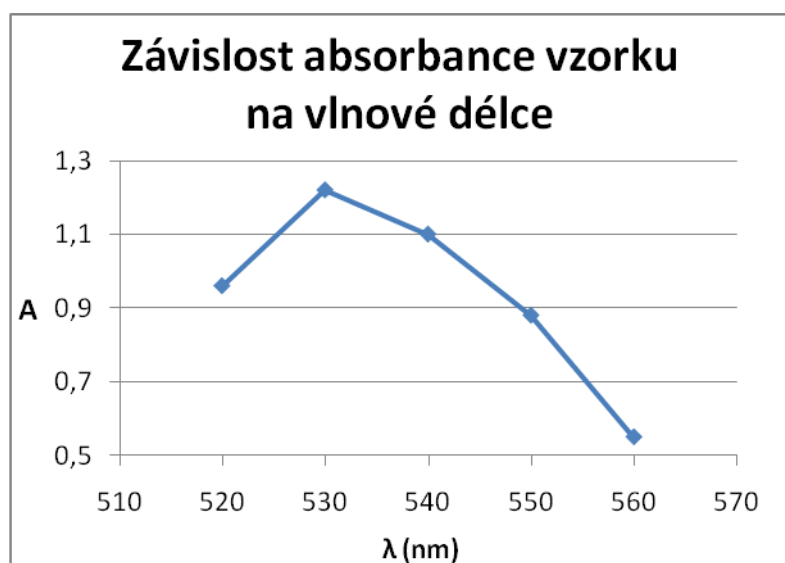
Stanovení bylo prováděno se vzorkem připraveným dle kap. 3.4.2.1, kde byla koncentrace neutrální červeně  $0,5 \cdot 10^{-3}$  mol/l a BR pufr o pH 5,02. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 10 a zpracovány do grafu na obrázku 6.

Dle výsledků byla pro následující měření zvolena vlnová délka 530 nm.

Tabulka 10: Absorbance vzorku při dané vlnové délce

| $\lambda$ [nm] | A    |
|----------------|------|
| 520            | 0,96 |
| 530            | 1,22 |
| 540            | 1,1  |
| 550            | 0,88 |
| 560            | 0,55 |

Obrázek 6: Graf k tabulce 10





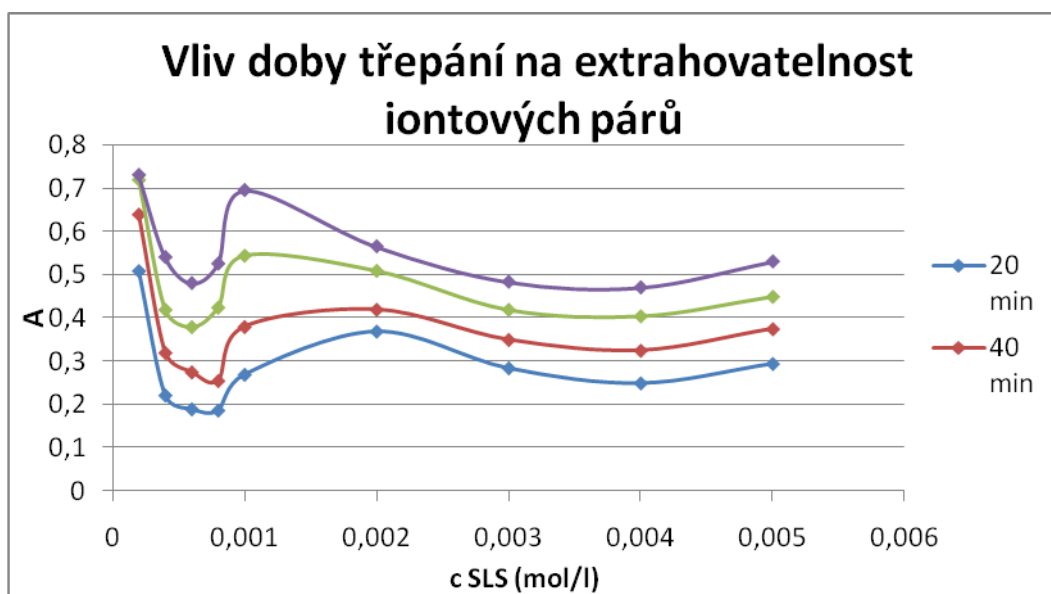
## 4.2.2 Výsledky vlivu doby třepání na extrahovatelnost iontových párů

V tabulce 11 jsou shrnuty změny absorpance chloroformové vrstvy ve dvacetiminutových intervalech, kdy bylo prováděno třepání, a tudíž se část absorbujícího barviva ve formě iontového páru s aniontem tenzidu přesouvala z vodné fáze vzorku do fáze chloroformové. Grafické znázornění se pak nalézá na obrázku 7.

Tabulka 11: Vliv doby třepání na extrahovatelnost iontových párů

| c SLS [mol/l]       | A (v čase 0) | Po 20 min | Po 40 min | Po 60 min | Po 80 min |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $5 \cdot 10^{-3}$   | 0,265        | 0,295     | 0,375     | 0,450     | 0,530     |
| $4 \cdot 10^{-3}$   | 0,225        | 0,250     | 0,325     | 0,405     | 0,470     |
| $3 \cdot 10^{-3}$   | 0,250        | 0,285     | 0,350     | 0,420     | 0,483     |
| $2 \cdot 10^{-3}$   | 0,280        | 0,370     | 0,420     | 0,510     | 0,565     |
| $1 \cdot 10^{-3}$   | 0,255        | 0,270     | 0,380     | 0,545     | 0,695     |
| $0,8 \cdot 10^{-3}$ | 0,190        | 0,187     | 0,255     | 0,425     | 0,525     |
| $0,6 \cdot 10^{-3}$ | 0,195        | 0,190     | 0,275     | 0,380     | 0,480     |
| $0,4 \cdot 10^{-3}$ | 0,210        | 0,222     | 0,320     | 0,420     | 0,540     |
| $0,2 \cdot 10^{-3}$ | 0,510        | 0,510     | 0,640     | 0,720     | 0,730     |

Obrázek 7: Graf extrahovatelnosti iontových párů



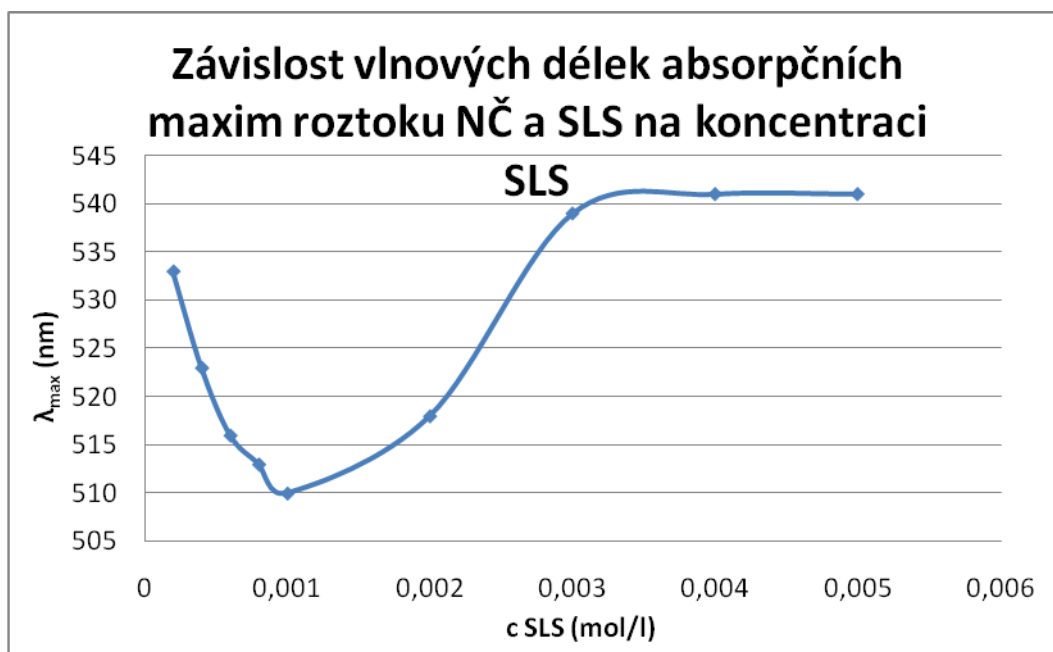
### 4.3 Výsledky UV-VIS spektrofotometrie

Maxima absorpčních spekter vzorků připravených dle kap. 3.4.3, která byla změřena proti slepému vzorku, jsou zaznamenána v tabulce 12 a převedena do grafické podoby na obrázku 8. Vzorové absorpční spektrum s maximem při vlnové délce 541 nm se nalézá na obrázku 9.

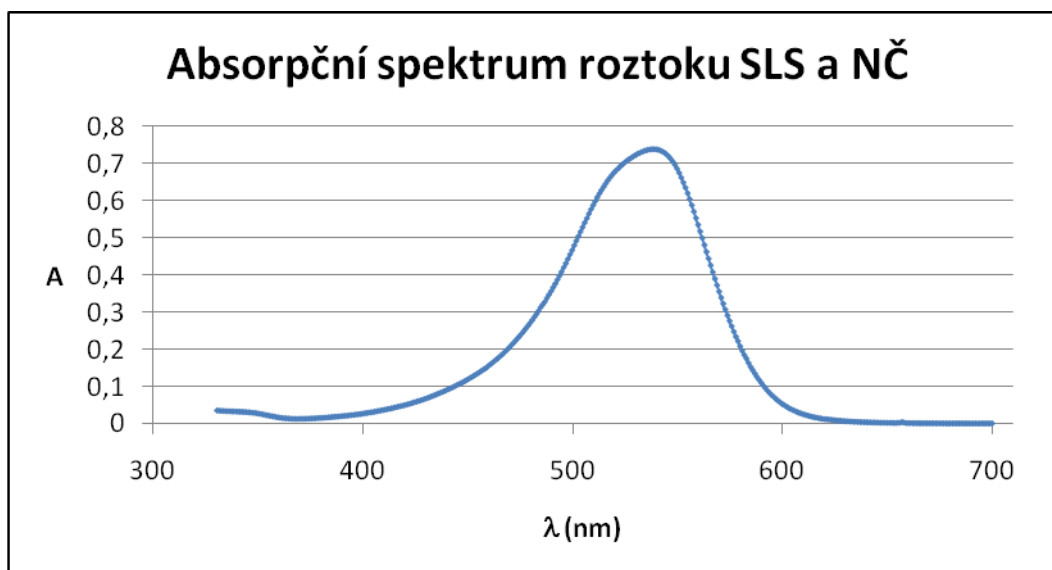
Tabulka 12: Maxima absorpčních spekter vzorků

| c SLS [mol/l] | $\lambda_{\max}$ [nm] |
|---------------|-----------------------|
| 0,0002        | 533                   |
| 0,0004        | 523                   |
| 0,0006        | 516                   |
| 0,0008        | 513                   |
| 0,001         | 510                   |
| 0,002         | 518                   |
| 0,003         | 539                   |
| 0,004         | 541                   |
| 0,005         | 541                   |

Obrázek 8: Graf k tabulce 11



Obrázek 9: Vzorové absorpční spektrum roztoku SLS a NČ



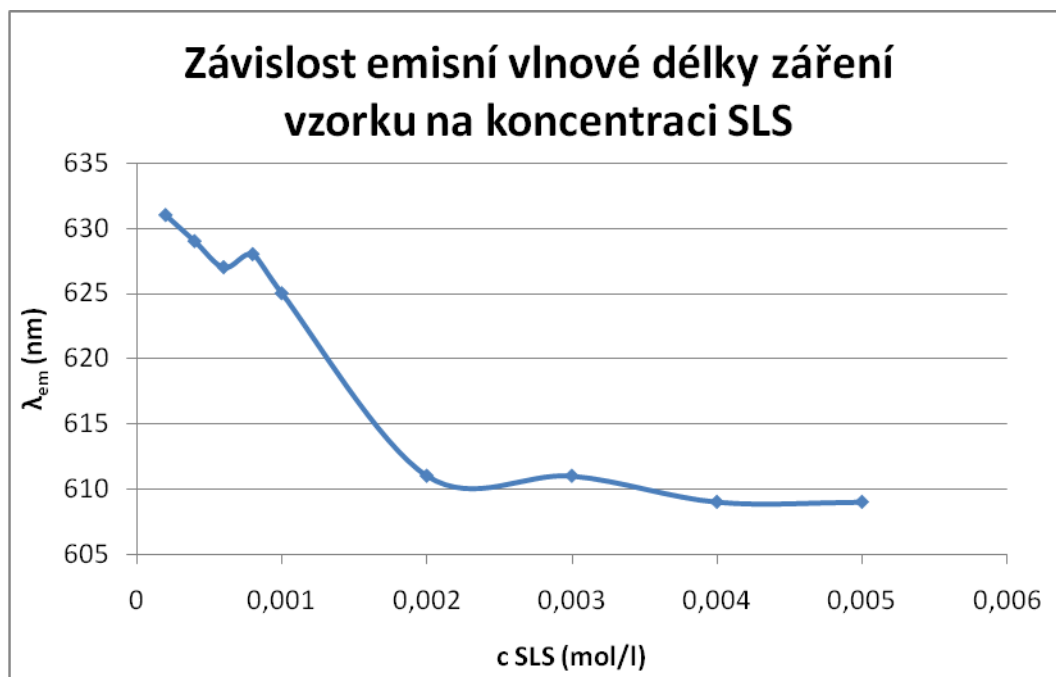
#### 4.4 Výsledky spektrofluorimetrie

Vlnové délky změřených maxim emisních spekter vzorků připravených dle kap. 3.4.4, jsou zaznamenány v tabulce 13. Příslušný graf se nalézá na obrázku 10. Dále na obrázku 11 je zobrazeno vzorové emisní spektrum roztoku SLS a NČ při emisní vlnové délce 609 nm.

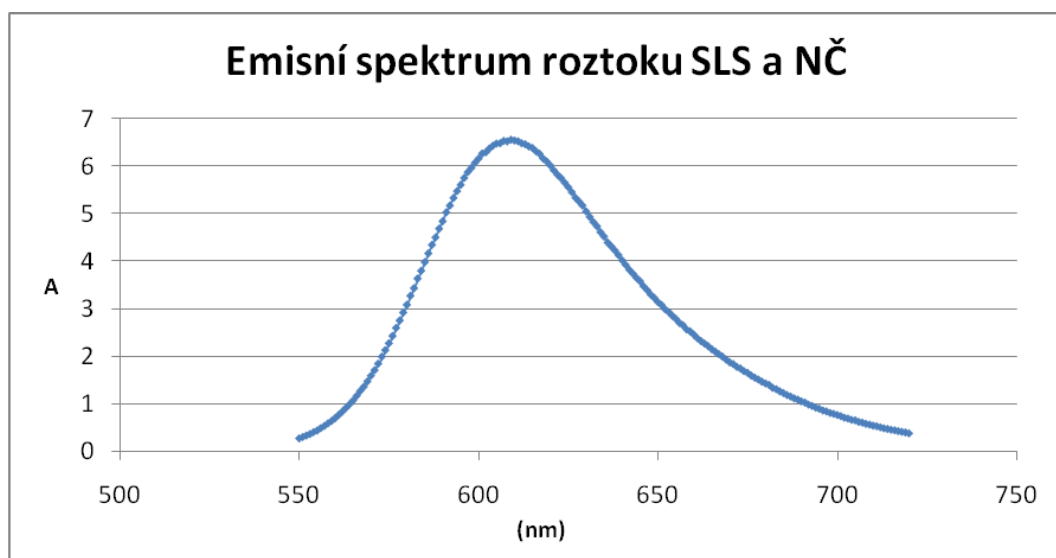
Tabulka 13: Vlnové délky emisních spekter vzorků

| c SLS [mol/l] | $\lambda_{em}$ [nm] |
|---------------|---------------------|
| 0,0002        | 631                 |
| 0,0004        | 629                 |
| 0,0006        | 627                 |
| 0,0008        | 628                 |
| 0,001         | 625                 |
| 0,002         | 611                 |
| 0,003         | 611                 |
| 0,004         | 609                 |
| 0,005         | 609                 |

Obrázek 10: Graf porovnání emisních vlnových délek vzorku a slepého vzorku



Obrázek 11: Vzorové emisní spektrum roztoku SLS a NČ



## 5 DISKUZE

Tato bakalářská práce přímo navazuje na diplomovou práci Otradovské (1), která usuzuje na tvorbu vysoce uspořádaných agregátů v roztocích, které obsahují SLS v koncentraci  $2 \cdot 10^{-5}$  mol/l a NČ v koncentracích řádu  $10^{-4}$  až  $10^{-5}$  mol/l. Tento závěr je učiněn zejména na základě výsledků měření absorpčních UV-VIS spekter a fluorescenčních spekter výše zmíněných roztoků. S odkazem na dříve publikované výsledky (11) se Otradovská domnívá, že by bylo vhodné prozkoumat oba typy spekter v roztocích NČ a SLS při koncentracích, které se blíží CMC, neboť teprve za těchto koncentrací lze zvažovat vliv hydrofobních částí molekul SLS na polaritu prostředí, což může ovlivňovat spektrální vlastnosti agregátů tvořených NČ a SLS.

Prvním krokem mé bakalářské práce bylo měření CMC SLS v pufovaných roztocích. Při spektrálních měřeních v roztocích obsahujících barviva a tenzidy je nutné měřit za konstantní hodnoty pH, tedy za přítomnosti pufru. V mé práci byl používán univerzální pufr Brittonův-Robinsonův, který zásadně ovlivňuje iontovou sílu roztoků a následně hodnotu CMC tenzidu (SLS). Otradovská (1) zmiňuje ve své práci použití Brittonova-Robinsonova pufru o pH 5,02; 9,37; 10,88, proto byla stanovena CMC SLS právě při těchto hodnotách pH. Podle očekávání CMC SLS se stoupající hodnotou pH pufru klesá (viz obrázek 4), neboť se zvyšuje iontová síla roztoku. S využitím dříve zjištěných dat o iontové síle roztoků s Brittonovým-Robinsonovým puftrem (10) byla vyhodnocena rovněž závislost iontové síly pufru na pH (obrázek 5). Obě závislosti jsou lineární, hodnoty koeficientu determinace jsou více než uspokojivé. K měření hodnot CMC byla použita potenciometrická metoda s iontově selektivní elektrodou pro tenzidy. Tato metoda je díky své selektivitě vhodnou metodou pro měření hodnot CMC tenzidů v roztocích, které obsahují i další látky.

Otradovská (1) používala ve své diplomové práci metodiku, kdy při konstantní koncentraci tenzidu měnila v roztocích koncentraci barviva a měřila spektra (UV-VIS a fluorescenční), případně hodnoty absorbancí (v případě extrakční spektrofotometrie). Jak ukázaly předběžné pokusy, tuto metodiku

nebylo možno aplikovat za vyšších koncentrací barviva, neboť hodnoty absorpčních koncentrovaných roztoků NČ přesahovaly fotometrický rozsah používaných přístrojů. Proto byl zvolen přístup opačný, kdy byla v roztocích zachována konstantní koncentrace NČ a měněna koncentrace SLS. S takto připravenými roztoky byla provedena měření stejnými třemi metodami, jaké použila Otradovská (1): extrakční spektrofotometrií, UV-VIS absorpční spektrofotometrií a fluorimetrií. Všechna měření byla prováděna při pH = 5,02, při němž dosáhla Otradovská (1) nejlepších výsledků. To je zřejmě způsobeno tím, že při tomto pH je NČ zcela disociována a je proto náchylná k tvorbě iontových párů se SLS. Hodnota CMC SLS ve sledovaných roztocích byla 0,0046 mol/l.

Průběh závislostí naměřených extrakční spektrofotometrií (obrázek 7) není nikterak neobvyklý, analogické závislosti byly již naměřeny a diskutovány v případě podobných roztoků (8). Měření bylo prováděno při 530 nm. Všechny křivky na obrázku 7 vykazují dvě minima a jedno maximum. Zajímavá je změna polohy maxima při pokračujícím vytřepávání. Maximum se posouvá směrem k nižším koncentracím SLS, což by mohlo indikovat jistou změnu složení extrahovaných částic. Vzhledem k nízké hodnotě pH nelze předpokládat extrakci samotného barviva, které je zcela disociováno. Proto lze předpokládat, že v průběhu extrakce se mění složení agregátů, které přecházejí do nepolární (chloroformové) fáze. K posunu maxima dochází v rozmezí koncentrací SLS 0,001 – 0,002 mol/l.

Výsledky získané metodou UV-VIS absorpční spektrofotometrie jsou patrné z grafu na obrázku 8. Vlnové délky absorpčních maxim NČ procházejí v závislosti na koncentraci SLS minimem, které se nachází při hodnotě 0,001 mol/l. Tento průběh uvedené závislosti lze interpretovat jako vliv změny polarity prostředí na absorpční spektrum NČ. Při zvyšující se koncentraci SLS dochází ke snížení polarity prostředí, což vede ke změně absorpčního maxima NČ. To vše za předpokladu interakce NČ a nositele nepolárních oblastí v roztoku – SLS. Zpočátku míra interakce mezi nepolárními částmi NČ a SLS stoupá a vlnová délka maximální absorpce postupně klesá. Nejvyšší pravděpodobnost takovýcho

(hydrofobních) interakcí je při koncentraci 0,001 mol/l. Další vzestup koncentrace SLS již vede k preferenci hydrofobních interakcí mezi nepolárními konci částic SLS a k vytlačování kationtů NČ do polárních oblastí roztoku, což způsobuje opětovný vzestup vlnové délky absorpčního maxima. Po dosažení CMC již je  $\lambda_{\max}$  konstantní.

Na základě úvah v předchozím odstavci by se mohlo zdát, že UV-VIS absorpční spektrofotometrie by bylo možno použít ke zjišťování CMC tenzidů. Pak by se ovšem neshodovala CMC zjištěná potenciometricky s hodnotou zjištěnou spektrofotometricky. Spektrofotometrická metoda používající organická barviva, která fungují jako acidobazické indikátory, byla kdysi využívána ke stanovení CMC. Ovšem hodnoty CMC takto stanovené většinou vybočovaly z rozmezí hodnot CMC stanovených jinými metodami. Nesprávnost hodnot CMC získaných uvedeným postupem vysvětlil ve své práci Mukerjee (12) a dnes je tato metoda již zavržena.

V grafu na obrázku 10, který uvádí závislost vlnové délky emisního maxima na koncentraci SLS, lze vyzorovat lokální maximum při koncentraci SLS 0,0008 mol/l a následný strmý pokles hodnoty  $\lambda_{\text{em}}$  až k hodnotě koncentrace SLS 0,002 mol/l. Nad touto koncentrací je již vlnová délka emisního maxima přibližně konstantní. Až na první dvě hodnoty při nejnižších koncentracích tedy průběh této závislosti kvalitativně odpovídá průběhu obdobné závislosti v případě absorpčních spekter. Jisté odchylky (poloha maxima závislosti je při poněkud nižší koncentraci, než je poloha minima u absorpčního měření; dvě hodnoty při nejnižších koncentracích jsou vyšší) lze přičíst na vrub změnám polarizovatelnosti kationtu barviva při excitaci.

## 6 ZÁVĚR

Na základě výsledků získaných třemi metodami lze učinit tyto závěry.

1. Panuje kvalitativní shoda mezi výsledky všech tří metod. Z těchto výsledků můžeme usuzovat, že k výrazným hydrofobním interakcím mezi NČ a SLS dochází v oblasti kolem koncentrace SLS 0,001 mol/l.
2. Hydrofobní interakce obou látek při uvedené koncentraci jsou umožněny výraznou změnou polaritý prostředí před dosažením CMC SLS. Tento závěr potvrzuje domněnku dříve uvedenou v práci Otradovské (1).
3. Změny polaritý prostředí před dosažením CMC se výrazně projevují v absorpčním i emisním spektru barviva. To umožňuje studium interakčních jevů v roztocích a zároveň diskvalifikuje v této práci použité spektrální metody pro stanovení CMC. Tento již dříve známý fakt je z výsledků této bakalářské práce velmi dobře patrný.



## 7 LITERATURA

- (1) Otradovská Z.: Interakce tenzidů a organických barviv v roztocích I, diplomová práce, Katedra biofyziky a fyzikální chemie, UK v Praze, FaF v Hradci Králové, 2007.
- (2) Blažej A. a kol.: Tenzidy, Alfa, Bratislava (1977), str. 15-20.
- (3) Vojuckij S. S.: Kurs koloidní chemie, SNTL, Praha (1984), str. 320-324.
- (4) Buwalda R. T., Jonker J.M., Engberts J.B.F.N.: Aggregation of Azo Dyes with Cationic Amphiphiles at Low Concentrations in Aqueous Solution, *Langmuir* 15 (1999), 1083-1089.
- (5) Dutta R. K., Bhat S. N.: Interaction of Phenazinium Dyes and Methyl Orange with Micelles of Various Charge Types, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 106 (1996), 127-134.
- (6) Casero I., Sicilia D., Rubio S., Pérez-Bendito D.: Study of the Formation of Dye-Induced Premicellar Aggregates and Its Application to the Determination of Quaternary Ammonium Surfactants, *Talanta* 45 (1997), 167-180.
- (7) Maiti C. Nakul, Mazumdar S., Periasamy N.: J- and H-Aggregates of Porphyrin-Surfactant Complexes: Time-Resolved Fluorescence and Other Spectroscopic Studies, *Journal of Physical Chemistry B* 102 (1998), 1528-1538.
- (8) Kubíček V., Němcová K.: Study of the Interaction Phenomena of Cetyltrimethyl-ammonium Bromide, Cetylpyridinium Chloride and Benzethonium Chloride with C. I Acid Orange 52 and Picric Acid by Two Spectral Methods, *Dyes and Pigments* 68 (2006), 183-189.
- (9) Číhalík J., Dvořák J., Suk V.: Příručka měření pH, SNTL, Praha (1975), str. 230-231.

- (10) Opravilová J.: Kritické micelární koncentrace v roztocích kationických surfaktantů, diplomová práce, Katedra biofyziky a fyzikální chemie, UK v Praze, FaF v Hradci Králové, 2002.
- (11) Moulik S. P., Paul B. K. Mukherjee D. C.: Acid –Base Behavior of Neutral Red in Compartmentalized Liquids (Micelles and Microemulsions). *Journal of Colloid and Interface Science* 161 (1993), 72-82.
- (12) Mukerjee P., Mysels K. J.: Re-evaluation of the Spectral Method of Determining Critical Micelle Concentration. *J. Am. Chem. Soc.* 77 (1955), 2937-2943.