

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Hodnocení základních vlastností nových typů chelatačních prostředků a jejich účinnosti při modelovém praní

Bc. Michaela Morávková

Diplomová práce

2017

University of Pardubice

Faculty of Chemical Technology

Institute of Chemistry and Technology of Macromolecular Materials

Evaluation of the basic properties of new types of chelating agents and their effectiveness in a model washing

Bc. Michaela Morávková

Diploma thesis

2017

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela Morávková**  
Osobní číslo: **C15528**  
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Vlákna a textilní chemie**  
Název tématu: **Hodnocení základních vlastností nových typů chelatačních prostředků a jejich účinnosti při modelovém praní**  
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. V rešeršní části práce se zaměřte na popis a charakterizaci jednotlivých typů chelatačních tenzidů a sekvestračních prostředků s ohledem na nové trendy a směry výzkumu.
  2. V experimentální části práce stanovte sekvestrační kapacitu vůči vápenatému iontu pro teploty 20C a 90C, a to v závislosti na hodnotě pH. U chelatačních tenzidů vyhodnoťte povrchovou aktivitu měřením povrchového napětí vodných roztoků různé koncentrace.
  3. Sledujte působení testovaných látek při opakovaném modelovém praní bavlněné tkaniny ve vodě o tvrdosti 22dH. Výsledek praní vyhodnoťte stanovením obsahu popelu a vápenatého iontu na tkanině po praní.
-

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Petra Bayerová, Ph.D.**

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek


Datum zadání diplomové práce: **2. prosince 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2017**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2017

---

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 11. 5. 2017

Bc. Michaela Morávková

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí práce Ing. Petře Bayerové, Ph.D. za cenné rady a připomínky v průběhu celé práce a za odborné vedení v laboratoři.

Děkuji rovněž za možnost provést měření SEM v Centru materiálů a nanotechnologií za podpory MŠMT prostřednictvím projektů CZ. 1.05/4. 1.00/ 11.0251 a LM2015082.

Také bych chtěla poděkovat svým rodičům, příteli a kamarádům za jejich podporu v průběhu celého studia.

## **SOUHRN**

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením základních vlastností nových typů chelatačních prostředků a jejich účinnosti při modelovém praní. Vzorky, které byly hodnoceny, byly vyvinuty na ÚCHTML (Ústavu chemie a technologie makromolekulárních látek) v Pardubicích a dále byly hodnoceny 3 vzorky komerční. U vzorků tenzidového charakteru byla hodnocena jejich povrchová aktivita při teplotě 20 °C. Také byla u všech vzorků stanovena sekvestrační kapacita vůči  $\text{Ca}^{2+}$  iontu při teplotách 20 °C a 90 °C a různých hodnotách pH. Metodou modelového praní v tvrdé vodě 22 °dH byla posuzována sekvestrační schopnost hodnocených vzorků a následně stanoven obsah popela a  $\text{Ca}^{2+}$  iontu na prané bavlněné tkanině. Povrch tkaniny byl hodnocen na rastrovacím elektronovém mikroskopu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

detergenty, tenzidy, chelatační tenzidy, sekvestrační prostředky, sekvestrační kapacita, povrchové napětí, biodegradabilita

## **SUMMARY**

This diploma thesis deals with evaluation of basic properties of new types of Chelating Agents and their efficiency in the model washing. The samples which are used for evaluation were developed at Institute of Chemistry and Technology of Macromolecular Materials in Pardubice (UCHTML) and the three further samples were provided by commercial subjects. For all the samples it was also set sequestering capacity relative to the  $\text{Ca}^{2+}$  ion at 20 °C and 90 °C and various pH values. With the method of model washing in hard water 22 °dH was judged sequestering ability of the samples and then it were set the ash content and  $\text{Ca}^{2+}$  ions on washed cotton fabric. The surface of the fabric was evaluated on scanning electron microscope.

## **KEYWORDS**

detergents, surfactants, chelating surfactants, sequestering agents, sequestering capacity, surface tension, biodegradability



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>13</b>
1.1. Voda v textilním průmyslu .....	13
1.2. Vodní zdroje používané pro výrobní procesy .....	13
1.2.1. Spotřeba vody .....	13
1.2.2. Odpadní vody v textilním průmyslu .....	15
1.3. Kvalita vody.....	15
1.4. Tvrdost vody .....	16
1.4.1. Projevy tvrdé vody .....	17
1.4.2. Definice a jednotky tvrdosti vody .....	17
1.4.3. Stanovení tvrdosti vody .....	18
1.5. Změkčování vody .....	19
1.5.1. Změkčování pomocí iontoměníčů (ionexů) .....	19
1.5.2. Změkčování chemickými postupy.....	21
1.5.2.1. Změkčování vápnem a sodou .....	21
1.5.2.2. Změkčování hydroxidem sodným a sodou .....	21
1.5.2.3. Změkčování fosforečnany .....	22
1.5.2.4. Změkčování komplexy .....	22
<b>1.6. Praní</b> .....	<b>22</b>
1.6.1. Primární.....	23
1.6.2. Sekundární.....	23
1.6.3. Vliv pracího prostředku na tvoření inkrustů .....	23
<b>2. DETERGENTY</b> .....	<b>25</b>
2.1. Tenzidy (PAL) .....	25
.....	<b>26</b>

2.2. Ionogenní tenzidy .....	27
2.3. Neionogenní tenzidy .....	27
2.4. Chelatační tenzidy (samosekvestrující) .....	28
<b>2.5 SEKVESTRAČNÍ PŘOSTŘEDKY .....</b>	<b>33</b>
2.5.1. Kondenzované polyfosfáty .....	34
2.5.2. Fosfonáty- polyaminofosfonáty a polyhydroxyfosfonáty .....	35
2.5.3. Polyaminokarboxyláty .....	36
2.5.4. Hydroxykarboxyláty a alkanolaminy .....	38
2.5.5. Polykarboxyláty .....	40
2.5.6. Nové sekvestrační prostředky .....	41
<b>3. CÍL PRÁCE .....</b>	<b>45</b>
<b>4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>46</b>
4.2. Seznam použitých přístrojů .....	47
4.3. Složení použitých vzorků .....	48
4.4. Stanovení sušiny .....	51
4.5. Stanovení povrchového napětí .....	51
4.5.1. Příprava vzorku na měření povrchového napětí .....	52
4.5.2. Metoda počítání kapek – stanovení povrchového napětí .....	52
4.5.3. Výpočet povrchového napětí .....	53
4.6. Stanovení sekvestrační kapacity .....	53
4.6.1. Vyhodnocení sekvestrační kapacity .....	54
4.6.2. Výpočet sekvestrační kapacity .....	55
4.6.3. Příprava odměrného roztoku chloridu vápenatého .....	56
4.6.4. Stanovení obsahu $\text{Ca}^{2+}$ v 1 ml odměrného roztoku .....	56
4.7. Hodnocení vývojových vzorků v opakovaném modelovém praní .....	57
4.7.1. Složení modelového detergentu .....	58
4.7.2. Poměr modelového detergentu a bavlněné tkaniny .....	58
4.7.3. Příprava tvrdé vody o 22 °dH .....	58

4.7.4. Ověření tvrdé vody .....	59
4.7.5. Složení roztoku Chelatonu III potřebného pro titraci .....	59
4.7.6. Modelové praní v aparátu Ahiba Nuance Top Speed II B .....	59
4.7.7. Stanovení množství popela.....	60
4.7.8. Stanovení množství vápníku .....	60
<b>5. VÝSLEDKY A DISKUSE .....</b>	<b>61</b>
5.1. Hodnocení vývojových vzorků chelatačních tenzidů .....	61
5.2. Hodnocení sekvestrační účinnosti u vývojových vzorků chelatačních tenzidů.....	63
5.3. Hodnocení vývojových vzorků sekvestračních prostředků .....	66
5.4. Hodnocení vývojových vzorků v modelovém praní.....	68
5.5. Snímky povrchu bavlněného materiálu po opakovaném modelovém praní.....	73
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>81</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>82</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>89</b>
<b>9. SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....</b>	<b>92</b>
Seznam obrázků.....	92
Seznam grafů .....	93
<b>10. SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>94</b>
<b>11. PŘÍLOHY.....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

Velmi častým problémem v textilním průmyslu je tvrdost vody, kterou způsobují především kationty vápenaté a hořečnaté. Odstranit ji můžeme pomocí sekvestračních prostředků, které jsou schopny na sebe tyto kationty vázat do vodorozpustných, ale nedisociovatelných komplexů, chelátů. V chemickém průmyslu se velmi často používají prací a čisticí prostředky, jejichž součástí jsou právě zmíněné sekvestrační prostředky. Bez sekvestračního prostředku by se na materiálu mohly tvořit usazeniny a tím poté dochází k zhoršení omaku textilie, nebo její zešednutí.

Tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které snižují povrchové napětí. Tvrdá voda však snižuje jejich účinnost, a proto je snaha vyvinout prostředek, který by byl biologicky odbouratelný, kvůli ochraně životního prostředí a zároveň by spojoval vlastnosti tenzidů a sekvestračních prostředků. Tento prostředek se nazývá chelatační, neboli samosekvestrující tenzid.

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení základních vlastností nových typů chelatačních prostředků a jejich účinnosti při modelovém praní. Vzorčky, které byly hodnoceny, byly vyvinuty na ÚCHTML (Ústavu chemie a technologie makromolekulárních látek) v Pardubicích.

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1. Voda v textilním průmyslu

Voda je jednou z nezákladnějších podmínek života na planetě Zemi. Vyskytuje se na Zemi v různých podobách. V atmosféře se vyskytuje v plynném skupenství a na zemi buď v pevném, nebo v kapalném skupenství. Voda pokrývá více než 2/3 zemského povrchu. Slaná voda, která se vyskytuje v mořích a oceánech obsahuje 97 % a voda sladká tvoří zbylé 3 % a najdeme ji v ledovcích, jako vodu podzemní, povrchovou a atmosférickou. Vodu potřebujeme pro různé účely a jedním z nich je použití vody v chemickém průmyslu pro výrobní procesy. Tato voda se nazývá jako technologická a sleduje se její kvalita, která závisí na použitém přírodním zdroji a požadavky na ni mohou být proto velice různorodé [1,2,3].

## 1.2. Vodní zdroje používané pro výrobní procesy

Pro výrobní procesy se používají vody technologické (provozní) a to zejména voda podzemní, povrchová a pitná. Kvalita těchto vod se liší podle použité technologie a také závisí na použitém vodním zdroji, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole [2].

### 1.2.1. Spotřeba vody

Nejvíce se voda využívá při finálních úpravách, které se dělají proto, abychom dosáhli požadovaných vlastností textilních materiálů jako je omak, izolační vlastnosti, stálosti v tvaru, nehořlavost, nepromokavost apod. [4]. Například v Indii je denní spotřeba vody v textilním průmyslu na 8000 kg materiálu za 1 den cca 1,6 miliónů litrů vody, což je opravdu velká spotřeba. V tabulce č. 1 je rozdělena spotřeba do jednotlivých odvětví textilního průmyslu a nejvíce vody se spotřebuje v odvětví bělení a následně vyvářce textilního materiálu a další spotřeby vody při zpracování textilu za mokra jsou uvedeny také v tabulce č. 2. [5].

**Tabulka č. 1: Celková spotřeba vody v textilním závodě<sup>5</sup>**

Proces	Spotřeba vody v procentech
Bělení	38 %
Barvení	16 %
Tisk	8 %
Vyvářka	14 %
Tkaní	9 %
Předení	6 %
Jiné procesy	9 %

**Tabulka č. 2: Spotřeba vody v mokrých procesech pro bavlněné textilie<sup>6</sup>**

Proces	Spotřeba vody v litrech / 1 kg materiálu
Šlichtování	0,5 - 8,2
Odšlichtování	2,5 - 21
Praní	20 - 45
Bělení	2,5 - 25
Mercerizace	17 - 32
Barvení	10 - 300
Tisk	8 - 16

### 1.2.2. Odpadní vody v textilním průmyslu

Z textilního průmyslu odchází velké množství vod odpadních, které jsou důsledkem vzniku chemických procesů, jako je barvení, praní, čištění a úprava textilního vlákna. Textilní průmysl je zároveň obrovským spotřebitelem vody a s tím souvisí následek negativního dopadu na životní prostředí, jako je eutrofizace neboli "vodní květ" ale také zničení ekosystému vodního toku. Přírodní vlákna obsahují nečistoty, které jsou zdrojem znečištění odpadních vod, a dalším zdrojem je chemické znečištění odpadních vod, které je způsobeno používáním chemických prostředků používaných při výrobních procesech, např.: prostředky na změkčování vody, bělicí prostředky. [7] V tabulce č. 3 je uvedeno složení odpadních vod ze zpracování bavlny.

Tabulka č. 3: Složení odpadních vod ze zpracování bavlny<sup>8</sup>

Proces	vyvářka	bělení	barvení	mercerace	směs
Ukazatel	g.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	g.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
veškeré látky	10-15	500-800	200-5000	20	500-3000
ztráta žiháním	6,5-10	200-350	150-2500	-	300-2500
BSK <sub>5</sub>	2-3	100-300	100-2000	0,1	300-1200
N organický	-	-	-	-	10-30
Cl <sub>2</sub>	-	100	-	-	-
pH	9	8,5	5-10	13,5	8,9

### 1.3. Kvalita vody

Kvalita vody se liší podle použité technologie a je důležitým faktorem pro úspěšnou technologii zušlechťování [4]. Požadavky na jakost jsou ve Vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 379/2000 Sb. [1].

#### Předpoklady na kvalitu vody v textilním průmyslu [1]:

- nesmí být zbarvena
- nesmí obsahovat kal
- měla by to být měkká voda
- měla by obsahovat minimální obsah nečistot (Fe, Mn, organické látky)

#### Normy pro zušlechťovací provozy [1]:

- průhlednost vody min. 50 cm
- pH 6,5-8
- Tc (celková tvrdost) 2-5° německých stupních
- Fe 0,1 mg.l<sup>-1</sup>
- Mn 0,05 mg.l<sup>-1</sup>
- Cu 0,03 mg.l<sup>-1</sup> (pro enzymatické odšlichtovací lázně)

### **1.4. Tvrdost vody**

Tvrdost vody převážně způsobují kationty vápenaté a hořečnaté. Tvrdá voda tedy obsahuje vysoký podíl minerálních látek. Dalšími látkami, které mohou způsobovat tvrdost vody je: železo a hliník, mangan, zinek, baryum, stroncium. Vysoký obsah železa má za následek tzv. "rezavou vodu". Tvrdost vody se určuje jako množství uhličitanu vápenatého (CaCO<sub>3</sub>) rozpuštěného ve vodě. Rozlišujeme tvrdost celkovou, stálou a přechodnou. Přechodnou tvrdost můžeme odstranit varem, na rozdíl od tvrdosti stálé. Stálá tvrdost je způsobena sírany (CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>) a chloridy (CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>), popřípadě dusičnany, jejichž obsah je po zahřátí varem ve vodě stejný. Přechodná, či bikarbonátová



tvrdost je způsobena hydrogenuhličitaný (Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) a můžeme ji odstranit varem, protože se hydrogenuhličitaný vysráží na uhličitaný [9,10,11].

### 1.4.1. Projevy tvrdé vody

Projevy tvrdé vody, kterých si můžeme všimnout, jsou např.: usazování vodního kamene v rychlovarné konvici, ale i na topném tělese v myčce, pračce, bojleru. Tvrdá voda také velmi vysušuje naši pokožku a snižuje energetickou účinnost již zmíněných domácích spotřebičů. Také snižuje účinnost pracích prostředků a prostředků do myček na nádobí. Musíme tedy přidat více prášku na praní (zvýšit koncentraci detergentu), pro efekt, který by byl stejný pro měkkou vodu [9]. Tvrdá voda se také usazuje na strojích a může nám výrazně ovlivnit výrobní proces a tím i konečný produkt. Tzn.: šednutí prádla, vysokému obsahu popela, mechanickému poškození vláken, usazeniny na stěnách trubek a tím dojde k jejich ucpání [12]!

### 1.4.2. Definice a jednotky tvrdosti vody

Celková tvrdost vody se vyjadřuje:

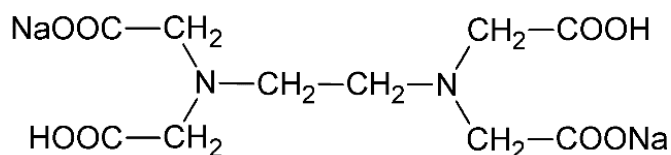
- nejčastěji v Německých stupních (°N), kde 1 [°dH] odpovídá 10 mg.l<sup>-1</sup> oxidu vápenatého (CaO) a tedy 17,848 mg.l<sup>-1</sup> uhličitanu vápenatého (CaCO<sub>3</sub>) v 1 l vody
- nebo jako suma (Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup>) iontů v mmol.l<sup>-1</sup>, kde 1 mmol.l<sup>-1</sup> odpovídá 5,6 [°dH] [9]

**Tabulka č. 4: Rozdělení vody podle tvrdosti, jakosti a původu<sup>13</sup>**

°N	Jakost vody	Původ vody
0,5	velmi měkká	destilovaná voda, voda z prahornin a vyvěřelin, velmi čistá dešťová
5-10	měkká	dešťová voda, voda ze sněhu a z vybraných tůní blíže prahornin, vyvěřelin a pískovců
10-20	polotvrdá	většina vodovodní a říční vody; v přírodě poblíž pískovců a lasturnatých vápenců
20-30	tvrdá	studniční a jezerní voda; voda z lasturnatých vápenců a dolomitů
30 a více	velmi tvrdá	některé druhy studničních a pramenitých vod ze sádrovcových půd

### 1.4.3. Stanovení tvrdosti vody

Ke stanovení tvrdosti vody se používá chelatometrická titrace, tzn. reakce Chelatonu III, neboli disodná sůl kyseliny -1,2- ethylendiamintetraethanové s vápenatými  $\text{Ca}^{2+}$  a hořečnatými  $\text{Mg}^{2+}$  ionty na-indikátory Murexid, nebo Eriochromovou čerň T. Zbarvení těchto indikátorů závisí na hodnotě pH, které je pro Murexid při pH nižším než 6 červenofialové a při pH nad 6 modrofialové. Jedná se o amonnou sůl kyseliny purpurové. Eriochromová čerň T má při pH nižším než 6 červenou barvu a při pH 6-11 má barvu modrou a při pH větším než 11 je žlutooranžová. Jedná se o sodnou sůl kyseliny (1- hydroxy-naftylazo)- 6-nitro-4-sulfonové. Murexid tvoří komplex s ionty  $\text{Ca}^{2+}$  a Eriochromová čerň T tvoří komplex jak s ionty  $\text{Ca}^{2+}$  a i s ionty  $\text{Mg}^{2+}$ . Při titraci roztoku Chelatonem III, který obsahuje  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  ionty na indikátor Eriochromovou čerň T dojde k přechodu z vínově červené barvy do modré v bodě ekvivalence, tzn., že tam budou obsaženy právě všechny ionty  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Když provedeme titraci stejného roztoku na indikátor Murexid nastane barevná změna z červené do modrofialové právě v bodě ekvivalence, když zreagují všechny  $\text{Ca}^{2+}$  ionty s Chelatonem III. Spotřeba Chelatonu III odpovídá pouze obsahu  $\text{Ca}^{2+}$  ve vzorku. Obsah  $\text{Mg}^{2+}$  ve vzorku můžeme vypočítat pomocí rozdílu spotřeb, které jsme naměřili při obou titracích Chelatonem III [11].



*disodná sůl kyseliny -1,2-ethylendiamintetraethanové (Chelaton III)*

## 1.5. Změkčování vody

Změkčování vody se provádí buď pomocí iontoměníčů, nebo chemickými postupy. Jde nám o to, abychom výrazně snížili koncentraci vápenatých  $\text{Ca}^{2+}$  a hořčnatých  $\text{Mg}^{2+}$  kationtů, které způsobují tvrdou vodu [2].

### 1.5.1. Změkčování pomocí iontoměníčů (ionexů)

Jedná se o vysokomolekulární látky, které nesou na svém skeletu disociovatelné funkční skupiny. Funkční skupiny, které jsou disociovány, uvolňují jednoduché ionty, neboli protiionty. Protiionty se mohou prohodit za jiné ionty nacházející se ve vodném roztoku a s nimiž je ionex ve styku [2].

Dělení ionexů:

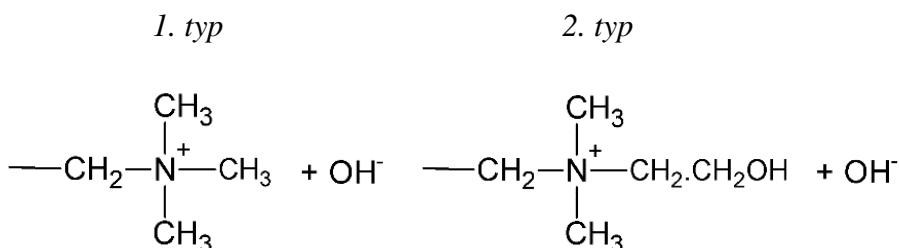
- 1) Katexy – mají protiion nabitý kladně
  - Katexy silně kyselé – Obsahují funkční  $-\text{SO}_3^-$  a fungují v  $\text{H}^+$ , nebo  $\text{Na}^+$  cyklu. Fungují bez omezení v kyselé i v zásadité oblasti pH.
  - Katexy slabě kyselé – Fungují v  $\text{H}^+$  cyklu a jejich funkční skupina je  $-\text{COOH}$ . Používají se pouze v alkalických roztocích, protože v kyselém prostředí je potlačena disociace funkční skupiny (rovnice č. 1) [2]:



V nedisociované formě funkční skupina – COOH nemá účinnost.

1) Anexy – mají protiion nabitý záporně

- Anexy silně zásadité – Máme 2 typy, fungují buď v OH<sup>-</sup> cyklu, nebo v Cl<sup>-</sup> cyklu. Fungují bez omezení v kyselé i v zásadité oblasti pH.



- Anexy slabě zásadité – Jejichž funkční skupiny tvoří primární -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, sekundární =NH<sub>2</sub><sup>+</sup> a terciární ≡NH<sup>+</sup>aminy. Na atom dusíku se vážou alkylové skupiny, např.: methylová skupina -CH<sub>3</sub>. Fungují v OH<sup>-</sup> cyklu a používají se pouze v kyselých roztocích, protože v kyselém prostředí je potlačena disociace funkční skupiny (rovnice č. 2):



U katexů jsou protiionty H<sup>+</sup>, nebo Na<sup>+</sup> a anexy mají protiionty buďto OH<sup>-</sup>, nebo Cl<sup>-</sup>. Říkáme tedy, že ionex působí v H<sup>+</sup>; Na<sup>+</sup> cyklu, nebo v OH<sup>-</sup>; Cl<sup>-</sup> cyklu. Protiionty ionexu se prohodí za ionty v roztoku [2].

## 1.5.2. Změkčování chemickými postupy

Jsou založeny na dvou principech:

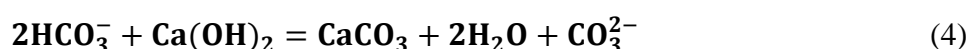
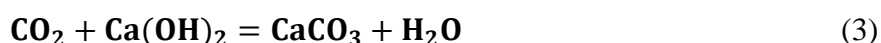
- a) odstranění vápníku  $\text{Ca}^{2+}$  a hořčíku  $\text{Mg}^{2+}$  z vody
- b) tvorba sloučenin vápníku  $\text{Ca}^{2+}$  a hořčíku  $\text{Mg}^{2+}$

### 1.5.2.1. Změkčování vápnem a sodou

Princip:

Do upravované vody se doplní se hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a tím se zvýší pH této vody,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  se převedou na  $\text{CO}_3^{2-}$ . Vznikne nám málo rozpustná sraženina  $\text{CaCO}_3$ , kterou odstraníme usazováním a filtrací (rovnice č. 3, 4) [2].

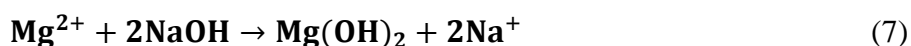
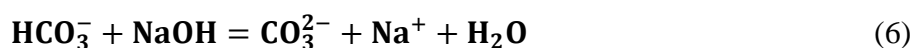
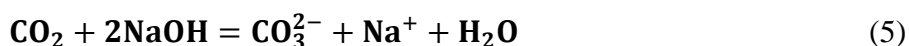
Vzniklé reakce při pH 10:



### 1.5.2.2. Změkčování hydroxidem sodným a sodou

Do upravované vody se doplní hydroxid sodný  $\text{Na}(\text{OH})_2$ , roztok se tím zalkalizuje a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  se převedou na  $\text{CO}_3^{2-}$  (rovnice č. 5, 6). Při dostatečně vysokém pH se vysráží  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (rovnice č. 7). Dojde k úplnému vysrážení  $\text{Ca}^{2+}$  [2].

Princip:



### 1.5.2.3. Změkčování fosforečnany

Při změkčování fosforečnany můžeme dosáhnout daleko nižších koncentrací  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ , než při srážení uhličitany. Při srážení  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  vzniká hydroxydfosforečnan vápenatý neboli hydroxylapatit  $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$  a fosforečnan vápenatý  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ . S růstem pH dochází ke snížení zbytkové koncentrace alkalických kovů v roztoku. Fosforečnany jsou drahé a mají negativní dopad na životní prostředí, jako je již výše zmíněná eutrofizace, "vodní květ" [2].

### 1.5.2.4. Změkčování komplexy

U komplexů neboli chelátů neprobíhají běžné reakce, protože jsou v jejich molekule vázány kovy pevnými vazbami. Tvoří komplexy s  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  a příkladem může být například: disodná sůl kyseliny -1,2ethylendiamintetraethanové a pod technologickým názvem Syntron B. Omezuje vylučování  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  do vody [2].

## 1.6. Praní

Představuje samostatnou technologii. Dělí se na primární a sekundární praní. Z technologického hlediska je praní jednou ze základních operací, kterou můžeme zařadit do technologie předúprav, speciálních, nebo konečných a vlastních úprav. Praní textilních materiálů děláme z hlediska hygienického a odstranění ulpělých segmentů na materiálu a také pro jeho celkové zvolnění. Prát můžeme jak přírodní, syntetický materiál, ale i směsi, např.: PES/vlna, PES/bavlna. Prací stroje jsou použity podle zpracovávaného materiálu, ve kterém se nastaví konkrétní parametry pro daný materiál [14].

### **1.6.1. Primární**

Primární praní je prací účinnost jednoho praní. Je to vlastně rozdíl na tkanině před praním a po vyprání. Když pereme doma, tak to můžeme jednoduše posoudit. Na tkanině se nečistota buďto vypere, nebo nevypere. Nejlepší rozdíl je vidět na prádle bílém, na prádle barevném je více složité. Zpravidla pereme prádlo, které je málo zašpiněné, a tak ho vyperou i prostředky, které mají i horší kvalitu [14].

### **1.6.2. Sekundární**

Sekundární praní je komplikovanější než primární. Jedná se o opakované praní a posuzuje se, jak narůstá množství organických i anorganických usazenin na tkanině. Usazování probíhá zvolna. Při cca 4 praních se neusazuje téměř nic, ale dochází tam spíše k porušení povrchu vlákna, kde se usazují krystalizační jádra inkrustů. Po cca 6 praních a se počet úsad a inkrustů zvyšuje a po cca 10 pracích procesech začnou být zpozorovatelné. Pro stanovení inkrustů se používá 10 praní jdoucích po sobě [14].

### **1.6.3. Vliv pracího prostředku na tvoření inkrustů**

Prací prostředek obsahuje tenzidy a buildry a to jsou složky, které podporují vznik usazenin a inkrustů. Tyto úsady způsobují šednutí materiálu. Buildry jsou komplexotvorné a tudíž mohou tvořit se sodnými (alkalickými) solemi mastných kyselin nerozpustné vápenaté  $\text{Ca}^{2+}$  a hořečnaté  $\text{Mg}^{2+}$  soli. Část se usadí na povrchu materiálu a část se odstraní mácháním, ale pouze malá část. Když se materiál pere několikrát za nesprávných podmínek, tak vznikají krystalizační jádra a následně vznikají velké krystaly, které mají ostré hrany a poškozují daný materiál, ale usazují se i na pračce.

Součástí prostředků v prášku je uhličitan sodný  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Při primárním praní se jeho účinnost zvyšuje, a to při teplotě 60 °C. Uhličitan sodný  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  má vliv na produkci úsad a inkrustů, tedy na sekundární práci účinnost. Optimální obsah uhličitanu sodného je 15-20 %.

Součástí kvalitního detergentu by měl být Zeolit A a dikřemičitan sodný. Měli bychom proto počítat s vyšší cenou. Jsou to buildry, které mají pozitivní vliv na primární práci schopnost. Dikřemičitan sodný zlepšuje sekundární a primární účinnost [14].



## 2. DETERGENTY

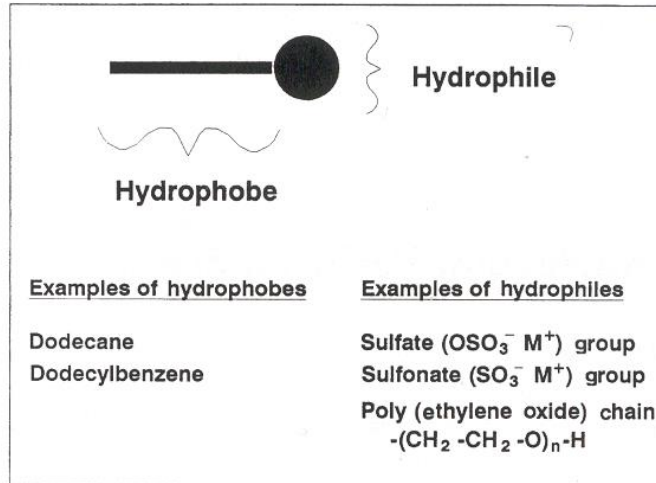
Detergenty jsou směs tenzidů a ostatních látek, které mají detergenční vlastnosti. Tenzidy jsou tedy hlavní součástí detergentů. Jsou to látky povrchově aktivní a uměle vytvořené. Tyto látky jsou známy pro svoji prací a čistící účinnost. Detergence znamená schopnost převést nečistotu z pevné fáze do objemové fáze roztoku. Detergenty se používají pro jejich účinnost v praní, dále jako dispergátory, emulgátory, smáčedla, která se používají hlavně v průmyslu [12].

### 2.1. Tenzidy (PAL) [1]

Tenzidy jsou povrchově aktivní látky a jsou obsaženy v pracích prostředcích, které běžně používáme. Snižují povrchové napětí vody, při nízké koncentraci a tím je smočen celý povrch textilního vlákna, ale i ulpělé nečistoty. Jejich charakteristické vlastnosti jsou: tvořit pěnu, emulgovat a dispergovat. Aby tyto charakteristické vlastnosti mohly být naplněny, potřebujeme právě takové množství tenzidu, až na povrchu fázového rozhraní voda-tenzid bude celé pokryto monomolekulární vrstvou. Právě proto mají tenzidy nesrovnatelnou strukturu molekul. Ty jsou asymetrické a mají dipolární charakter.

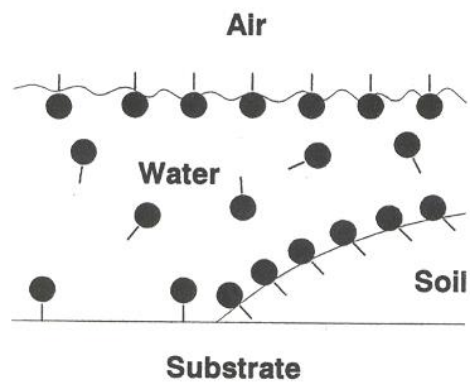
Molekula tenzidu má dvě části:

1. hydrofobní (nepolární)- obsahuje dlouhý uhlíkatý řetězec
2. hydrofilní (polární)- ionogenní skupina,  $-\text{COO}^-$ ,  $-\text{SO}_3^-$ ,  $-\text{OSO}_3^-$ , nebo neionogenní skupina,  $-(\text{CH}_2 \text{ CH}_2\text{O})_n$  – polyglykoletherová skupina



**Obrázek č. 1: Rozdělení molekuly tenzidu (PAL) [15]**

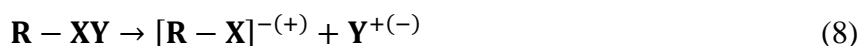
Jak u hydrofobní, tak u hydrofilní části se zmenšuje mezivrchové napětí na fázovém rozhraní. Hydrofilní část je orientována k nečistotě a hydrofobní část míří do objemu roztoku. Tenzidy se dělí podle ionogenity, neboli chemické vazby. Dělí se na ionogenní a neionogenní.



**Obrázek č. 2: Chování tenzidů ve vodných roztocích [15]**

## 2.2. Ionogenní tenzidy [1]

Disociují ve vodě a vytváří se buď kladně, nebo záporně nabitě ionty. Ionogenita se rozpozná podle elektrického náboje, který zůstane ve vodě po rozložení organické části molekuly tenzidu. Ionogenní tenzidy se rozkládají ve vodě takto (rovnice č. 8):



kde:

R je hydrofobní uhlíkatý radikál

XY je ionogenní (ionická) elektronicky disociovaná skupina

Hydrofobní radikál, který má záporný náboj  $[\mathbf{R-X}]^-$  bude přípravek anionaktivní a radikál s kladným nábojem  $[\mathbf{R-X}]^+$  bude přípravek kationaktivní.

Ionogenní tenzidy se tedy dělí na:

1. **Anionaktivní** – tvoří 60 % světové produkce, jsou špatně biologicky odbouratelné a velmi toxické, ve vodě se rozkládají na záporně nabitý organický aniont a kationt, což je většinou kov
2. **Kationaktivní** – ve vodě se rozkládají na kladně nabitě organické kationty a aniontem je halogen, jsou velmi špatně biologicky odbouratelné, mají vysokou toxicitu pro své baktericidní účinky

## 2.3. Neionogenní tenzidy [1]

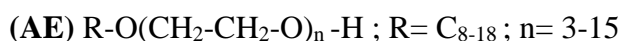
Nerozkládají se, a proto netvoří ionty. Jejich hydrofilní (polární) skupiny mají velmi silnou hydratační schopnost a tím mají schopnost rozpouštět se. Příkladem mohou být polyglykoletherové skupiny  $-(\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O})_n-$ . Biologická odbouratelnost záleží na počtu oxyethylovaných jednotek neboli stupni oxyethylenace. Jsou velmi toxické. Špatně

biologicky odbouratelné jsou nad 15 oxyethylenovaných jednotek a nízkooxyethylované jsou dobře biologicky odbouratelné.

Pro prací prostředky se vesměs používají tenzidy anionaktivní a tím nejvíce používaným je alkylbenzensulfonát sodný (LAS) a alkylsulfonát sodný (AS).



Pro neionogenní tenzidy se do pracích prostředků používá nejvíce primární alkoholetoxylát (AE).



U detergentů se kationaktivní a amfoterní tenzidy nepoužívají.

## 2.4. Chelatační tenzidy (samosekvestrující)

Chelatační tenzidy neboli samosekvestrující tenzidy mohou v lázni působit jako sekvestranty, ale také mohou působit jako povrchově aktivní látky (PAL), a proto jsou tyto látky podobné tenzidům.

### a) Reakce kyseliny fumarové s polyoxyethylenovaným stearyletherem [16]

Reakce se skládá ze 2 kroků:

1. přidáme iniciátor a poté necháme reagovat kyselinu fumarovou s polyoxyethylenovaným stearyletherem
2. neutralizace výsledného produktu hydroxidem sodným NaOH

Produkt, který vznikl má amfifilní strukturu a tvoří ho hydrofilní a hydrofobní část. Hydrofilní část obsahuje ethylenoxid a neutralizované karboxylové skupiny a část hydrofobní obsahuje alifatická skupina. Vzniklý produkt je podobný tenzidům díky svojí struktuře, a proto má výbornou povrchovou aktivitu a samosekvestrující vlastnosti.



|



|



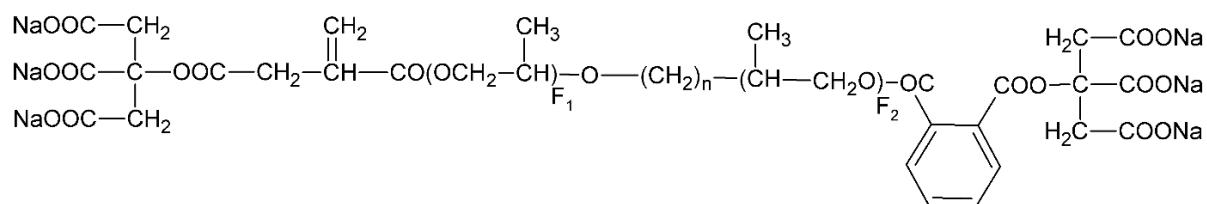
(kde je  $n = 7, 15, 20, 30$ )

### **b) Reakce z itakonové kyseliny, ftalanhydridu, kyseliny citronové a oxypropylenovaných diolů [17]**

Reakce se také skládá ze 2 kroků:

1. v prvním kroku reaguje ftalanhydrid a kyselina itakonová s oxypropylenovanými dioly při teplotě 240 až 280 °C
2. v druhém kroku reaguje vzniklý produkt z prvního kroku a dále se nechá reagovat s kyselinou citronovou při teplotě 180 °C, vzniká nám voda a tu musíme odjímat tak, aby nám reakce proběhla správným směrem (zleva doprava)

Výsledný produkt:



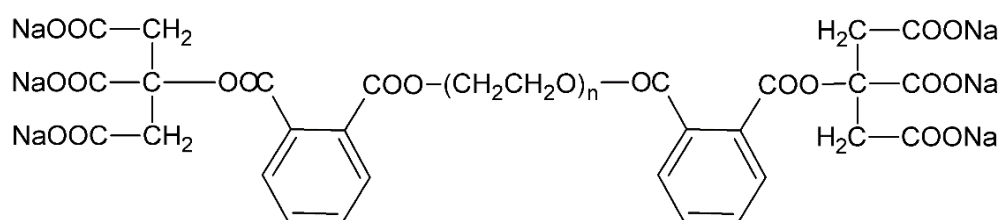
**Obrázek č. 3: Výsledný produkt Reakce z itakonové kyseliny, ftalanhydridu, kyseliny citronové a oxypropylenovaných diolů [17]**

### c) Reakce z ftalanhydridu, citronové kyseliny a polyethylenglykolu [18]

Reakce se skládá ze 2 kroků:

1. v prvním kroku reaguje ftalanhydrid s polyethylenglykolem, reakce je katalyzovaná a probíhá při 240 až 250 °C
2. v druhém kroku se vzniklý produkt nechá reagovat s kyselinou citronovou při 180 °C a vzniká nám voda a tu musíme odjímat tak, aby nám reakce proběhla správným směrem (zleva doprava)

Hydrofilní část obsahuje karboxylové skupiny a polyethylenovaný řetězec, část hydrofobní obsahuje aromatický kruh. Díky hydrofilním skupinám jsou vzniklé samosekvestrující tenzidy rozpustné ve vodě a mají malou pěnovitost a lepší dispergační schopnost.



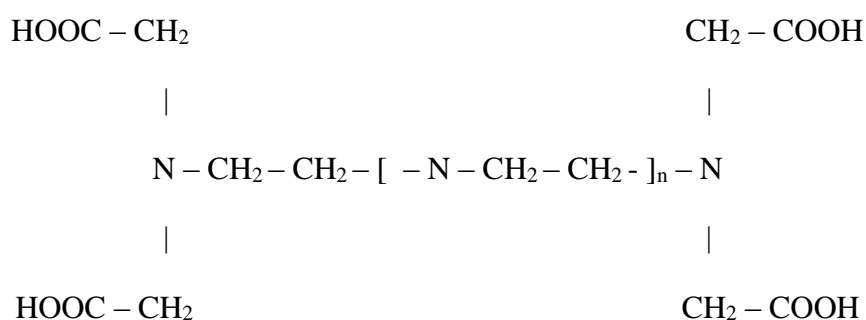
**Obrázek č. 4: Výsledný produkt reakce z ftalanhydridu, citronové kyseliny a polyethylenglykolu [18]**

#### d) Amidace kyseliny alkylaminem [19]

Princip reakce je amidace kyseliny alkylaminem s 8 až 22 atomy uhlíku za horka při 180 °C v prostředí glykolů nebo glykoetherů. Vzniklý produkt se následně hydrolyzuje 5 až 10 % roztokem alkalického hydroxidu za teploty 50 až 180 °C. Tato výroba je velmi jednoduchá a dosáhneme zde vysokých výtěžků a malého počtu amidů, které jsou nežádoucí.

Tyto amidy polyaminopolykarboxylových kyselin mají vysokou prací účinnost, odmašťovací a antiredepoziční schopnost.

Vzorec kyseliny:



(kde n nabývá 0 až 2)

#### e) Syntéza chelatačních tenzidů z cukrů (oktyl D-glukosidů) vázajících $\text{Fe}^{3+}$ [20]

Tato syntéza má více kroků. Hlavní složkou je zde alkylglukosid, jehož hlavní hydroxylová skupina je vyměněna skupinou chelatační. Malý čas reakce a vysoké výtěžky reakce zaručí syntéza pod mikrovlnným zářením alkylového řetězce na glukosidu, který je syntetizován z pentaacetátu.

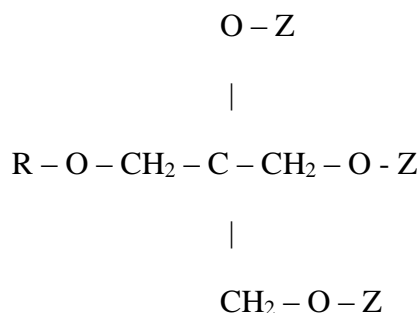
### f) Syntéza chelatačních tenzidů z cukrů vázajících $\text{Ca}^{2+}$ [21]

Hlavní látkou pro reakci jsou deriváty oktyl glukosidu. Glukopyranosid má malou chelatační schopnost jsou do jeho struktury přidávány komplexotvorné skupiny na bázi aminokyselin, nebo hydroxylaminů. Oxidován je uhlík C-6. Bylo zjištěno, že oktylový řetězec je nejlepším kompromisem mezi povrchovou aktivitou a rozpustností ve vodě daného samosekvestrujícího tenzidu.

### g) Další případné samosekvestrující tenzidy [22]

Princip je založen na tom, že se do směsi detergentu se zavede samosekvestrující molekula tenzidu. Vodorozpustná sůl zabírá 5 % hmotnostních.

Obecný vzorec vodorozpustné sole:



Kde:

**Z** je  $\text{CH}_2 - \text{COO} - \text{Me}^{n+}$  karboxymethylová skupina, kde  $\text{Me}^{n+}$  může být Na, K, NH kvarterní iont a jejich kombinace. Další Z skupiny mohou být stejné nebo se mohou lišit.

Tato směs je rozpustná ve vodě a může se kombinovat i s dalšími sekvestračními prostředky a ty jsou z ekologického hlediska v pořádku.

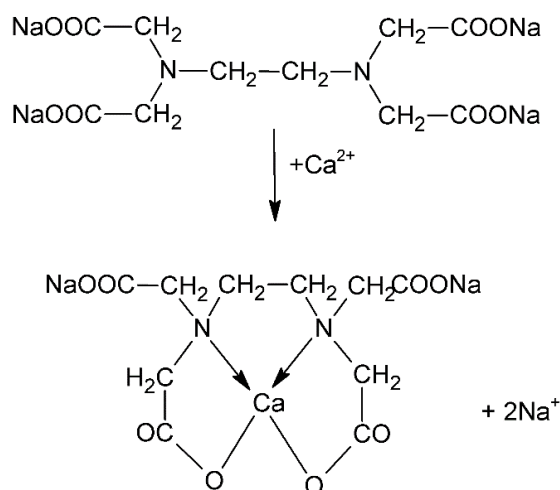


## 2.5 SEKVESTRAČNÍ PŘOSTŘEDKY

Sekvestrační prostředky se řadí mezi textilní pomocné prostředky (TPP) a používají se především pro změkčování vody, barvení a zušlechťování textilních materiálů. Při zušlechťování se používají hlavně při bělení. Jsou jednou z hlavních složek detergentů. Zvyšují účinnost pracího prostředku a změkčují tvrdou vodu. Dokáží na sebe vázat  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  kationty, které zahrnuje voda na praní (neupravená voda). Ve vodě změkčené, neboli upravené se sekvestrační prostředky používají při předúpravě celulosových vláken, kdy textilní materiál obsahuje  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  a i  $\text{Mn}^{2+}$  iontů díky kterým vznikají špatně rozpustné, nebo nerozpustné sraženiny na textilním materiálu. Tyto ionty mohou přivodit zehednutí materiálu a zhoršení jeho omaku. [23,24,25,26]

Sekvestrační prostředky jsou schopny na sebe tyto ionty vázat. Jedná se o to, že se pomocí komplexotvorné látky vytvoří koordinační sloučenina a vznikne nám vodorozpustná, ale nedisociovaná koordinační sloučenina. Jedná se o tzv. maskování kovů, které je znázorněno na obrázku č. 5, kde je ukázána komplexace  $\text{Ca}^{2+}$  iontu tetrasodnou solí ethylendiamintetraoctové kyseliny (EDTA), která zde působí jako sekvestrační prostředek [5,23].

Sekvestrační prostředky se používají již mnoho let, jako např.: kyselina citrónová, vinná apod., neboli hydroxykarboxylové kyseliny. Mnoho let se také používají polyfosforečnany a aminokarboxylové kyseliny [5].



Obrázek č. 5: komplexace  $\text{Ca}^{2+}$  iontu tetrasodnou solí ethylendiamintetraoctové kyseliny (EDTA) [5]

### Klasické typy sekvestračních prostředků [23]:

1. Kondenzované polyfosfáty
2. Fosfonáty- polyaminofosfonáty a polyhydroxyfosfonáty
3. Polyaminokarboxyláty
4. Hydroxykarboxyláty a alkanolaminy:
  - Glukonáty
  - Citráty
  - Alkanolaminy
5. Polykarboxyláty

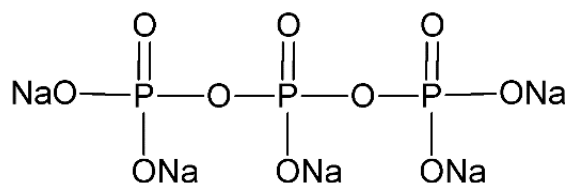
### Vlastnosti sekvestrantů [23]:

- sekvestrační kapacita
- konstanta stability
- dispergační schopnost
- threshold efekt

#### **2.5.1. Kondenzované polyfosfáty**

Kondenzované polyfosfáty jsou sice levné, ale způsobují eutrofizaci vod neboli "vodní květ", a proto jsou v dnešní době nahrazovány jinými sekvestračními prostředky. Jejich nevýhodou je hydrolyza při vyšších teplotách 100 °C a jsou tedy použitelné pouze do 80 °C. Mezi známé kondenzované polyfosfáty patří: fosforečnan trisodný  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , difosforečnan tetrasodný- SDP  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  a trifosforečnan pentasodný- STP  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , který se používá v praxi nejčastěji k sekvestraci. Kondenzované polyfosfáty mají výbornou dispergační schopnost a threshold efektem. Jejich sekvestrační účinek není úplně tak zřetelný, a proto se kombinují s polyaminokarboxyláty [23,27,28,29].

### *Trifosforečnan pentasodný- STP Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>*

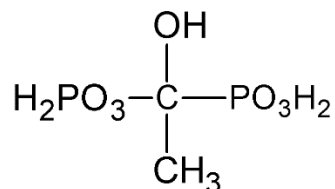


### **2.5.2. Fosfonáty- polyaminofosfonáty a polyhydroxyfosfonáty**

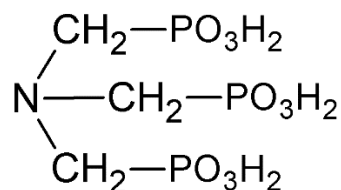
Fosfonáty mají velmi silný komplexotvorný účinek vůči kationtům Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a Fe<sup>3+</sup>, ale mají obrovskou nevýhodu a to, že nejsou biologicky odbouratelné. Fosfonáty mají velmi účinnou dispergační schopnost, znatelný threshold efekt a vysoký selektivní účinek vůči těžkým kovům. Mohou se částečně vázat na kal v ČOV, nebo na půdu, protože se mohou fotolyticky rozkládat.

Fosfonáty jsou deriváty fosfonových kyselin a jejich solí. Mezi sekvestrační prostředky na bázi fosfonátů patří například: 1- hydroxy-1,1- ethandifosfonová kyselina (HEDP), která má velmi dobrý účinek proti usazeninám na praném materiálu. Kyselina amino-tris(methylenfosfonová)- ATMP má dobrý komplexotvorný účinek, ale má nízkou oxidační stabilitu jako již výše zmíněná HEDP. Dalším sekvestračním prostředkem je kyselina ethylendiamino- tetrakis(methylenfosfonová) EDTMP. Tato kyselina je prvotřídním maskovacím prostředkem pro ionty alkalických kovů, ale i s těžkými kovy vytváří pevné komplexy [5,23,27].

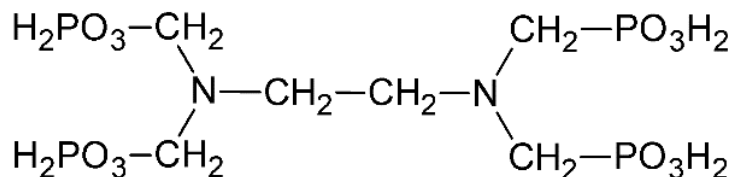
#### ***1- hydroxy-1,1- ethandifosfonová kyselina (HEDP)***



### *Amino-tris(methylenfosfonová)- ATMP*



### *Kyselina ethylendiamino- tetrakis(methylenfosfonová)(EDTMP)*



### **2.5.3. Polyaminokarboxyláty**

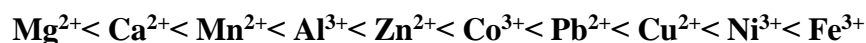
Polyaminokarboxyláty jsou sekvestrační prostředky na bázi polyaminokarboxylových kyselin a jejich solí. Do skupiny polyaminokarboxylátů patří například: NTA- kyselina nitrilotrioctová, EDTA- kyselina ethylendiamintetraoctová a její disodná sůl – Komplexon III, DTPA- kyselina diethylentriaminpentaoctová a dále HEDTA- kyselina ethylendiamintriocetová a Syntron A, Syntron B, Syntron C a Syntron D. Polyaminokarboxyláty nemají dispergační schopnost, ani threshold efekt. Fungují nejlépe ve slabě alkalickém, neutrálním a slabě kyselém prostředí pro těžké kovy a kovy alkalických zemin. V alkalickém prostředí za vyšších teplot jsou komplexy stabilní. Jejich sekvestrační účinnost ale klesá při vyšších koncentracích. Nevýhodou polyaminokarboxylátů je změna odstínu a stálostí barviva, protože jsou schopny vázat ionty kovokomplexních barviv kovů. Z ekologického hlediska jsou na tom polyaminokarboxyláty dobře, hlavně kyselina NTA, která je oproti EDTA a DTPA lehce biologicky odbouratelná, levná, ale komplexy váže slaběji [23,27,28,30].

Konstanta stability K pro aminopolykarboxyláty se zvyšuje následovně [5] :



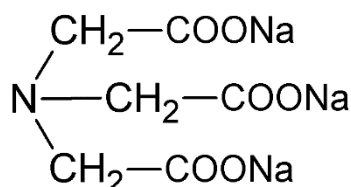
Konstanta stability zvyšuje sekvestrační účinek.

Pro aminopolykarboxyláty se konstanta stability specifického kovového iontu obecně zvyšuje v pořadí:

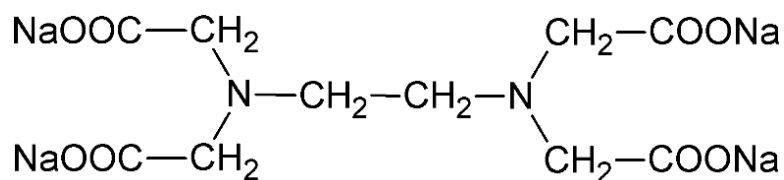


$\text{Mg}^{2+}$ -NTA komplex má stabilitu nejnižší a  $\text{Fe}^{3+}$ -DTPA komplex má stabilitu nejvyšší.

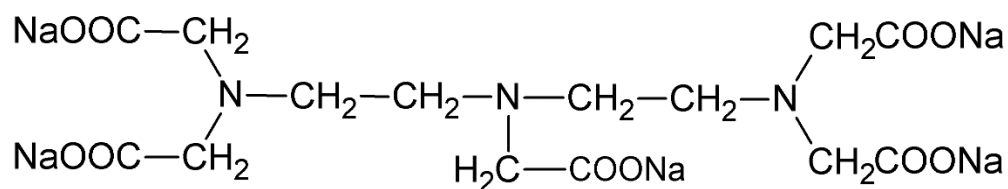
*Trisodná sůl nitrilotrioctové kyseliny- Syntron A*



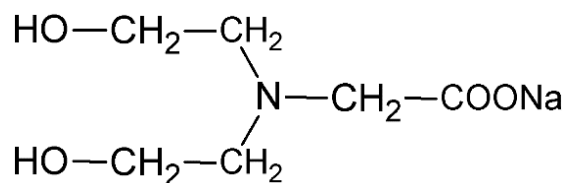
*Tetrasodná sůl ethylendiamintetraoctové kyseliny- Syntron B*



*Pentasodná sůl diethylentriaminpentaoctové kyseliny- Syntron C*



### *Sodná sůl dihydroxydiethylenaminoctové kyseliny- Syntron D*



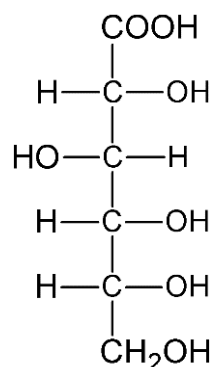
#### **2.5.4. Hydroxykarboxyláty a alkanolaminy**

Do této skupiny sekvestrantů patří glukonáty, citráty a alkanolaminy. Jsou dobře biologicky odbouratelné a jejich účinnost závisí na změně pH a na změně teploty. S kationty  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  tvoří slabé komplexy. V alkalické oblasti jsou schopny tvořit komplexy velmi stabilní s ionty těžkých kovů [23,28].

##### **a) Glukonáty**

Glukonáty se kombinují s polyaminokarboxyláty a polyfosfáty. Tvoří je kyselina glukonová a její sodná sůl. Mají výbornou dispergační schopnost a threshold efekt. S polyaminokarboxyláty a polyfosfáty se kombinují proto, aby se zamezilo problémům s  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Cu}^{2+}$  kationty v silně alkalickém prostředí. Nejsou stále vůči oxidaci, stojí vyšší cenu a jejich účinnost klesá se zvyšující se teplotou [23,27,28].

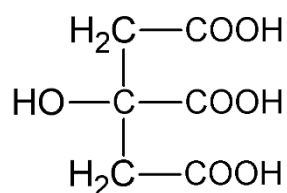
### *Kyselina glukonová*



### **b) Citráty**

Citráty tvoří kyselina citronová a její soli. Tvoří komplexy s kationty  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  a  $\text{Zn}^{2+}$  ionty v slabě kyselém a neutrálním prostředí. Ze zvyšující se hodnotou pH se účinnost tvorby komplexů s  $\text{Fe}^{3+}$  snižuje. Nejsou stále vůči oxidaci a jejich účinnost tvorby komplexů s  $\text{Fe}^{3+}$  snižuje s rostoucí teplotou [23,28].

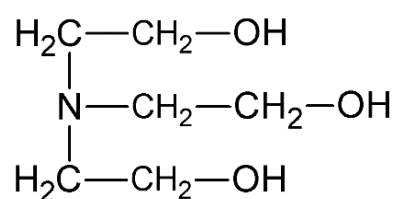
### *Kyselina citronová*



### **c) Alkanolaminy**

Kombinují se s aminopolykarboxyláty a s polyfosfáty. Jediným zástupcem je v této skupině triethanolamin, který se používá při zušlechťovacích procesech. Účinnost sekvestrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů je snížena v silném alkalickém prostředí a při vysoké teplotě. Triethanolamin se používá pro ionty železa v roztocích 1-18 % NaOH. Nejsou stále vůči oxidaci a jejich účinnost se snižuje s rostoucí teplotou [23].

### *Triethanolamin*

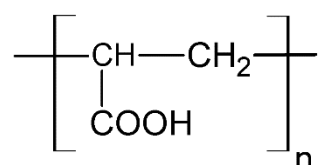


### 2.5.5. Polykarboxyláty

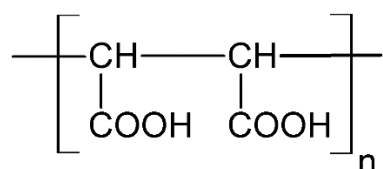
Polykarboxyláty nejsou biologicky odbouratelné, ale mají dobrý sekvestrační účinek vůči kationtům  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  a iontům těžkých kovů. Mají velkou dispergační účinnost proti úsadám a pevné špíně. Threshold efekt závisí na střední molekulové hmotnosti polykarboxylátů [23,31].

Polykarboxyláty jsou na bázi:

- polymery kyseliny akrylové a jejich derivátů

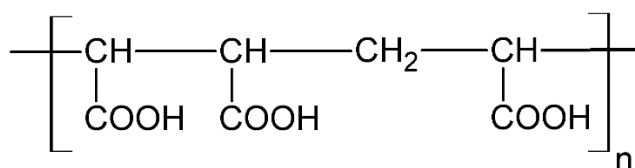


- polymery kyseliny maleinové a jejich derivátů

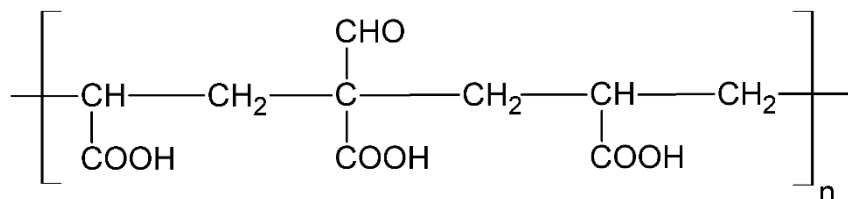




- kopolymerů kyseliny akrylové a maleinové



- polyoxymethylkarboxylové kyseliny

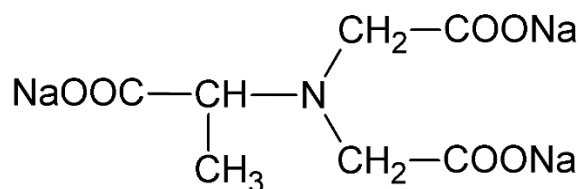


### 2.5.6. Nové sekvestrační prostředky

V současné době je trendem vyvíjet biologicky odbouratelné sekvestrační prostředky z důvodu ochrany životního prostředí. V následující kapitole zmíníme některé z těchto typů sekvestračních prostředků a i těch, které byly právě testovány v této diplomové práci.

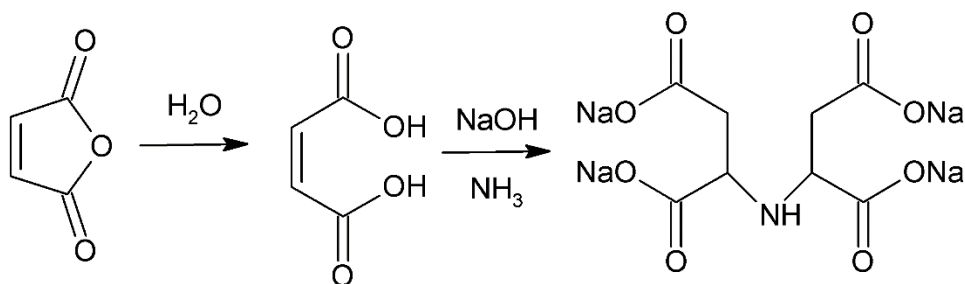
#### 1. Trilon M (BASF)

Trilon M je velmi stabilní a silný sekvestrační prostředek i při vysokých teplotách v alkalickém prostředí. Tvoří komplexy s  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , které jsou stabilní. Sestává se z kyseliny methylglycindiocetové ( $\text{H}_3\text{MGDA}$ ) a její trisodné soli ( $\text{Na}_3\text{MGDA}$ ). Používá se primárně v detergentech a čisticích prostředcích jako náhrada fosfátů a EDTA a je dostupný ve formě granulí, prášku, nebo kapaliny [32].



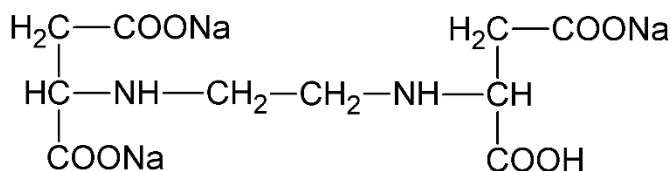
## 2. Iminodisukcinát tetrasodný (Baypure CX 100 solid G-LANXESS)

Tento sekvestrační prostředek je rychle biologicky odbouratelný. Komplexy tvoří s  $\text{Ca}^{2+}$  a dobře váže i ionty těžkých kovů. Komerčně dostupný je ve formě granulí, prášku a kapaliny. Sestává se z anhydridu kyseliny maleinové, podle reakce [33,34]:



## 3. Ethylendiamin-N, N'-dijantarová kyselina (Enviomet™ C140)

EDDS neboli ethylendiamin-N, N'-dijantarová kyselina je sekvestrační prostředek, který je dobře biologicky rozložitelný a váže ionty  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Je vhodný především proto, že je má nízkou toxicitu, ale zase má nižší účinek než EDTA (ethylendiamintetraoctová kyselina) [33,35].

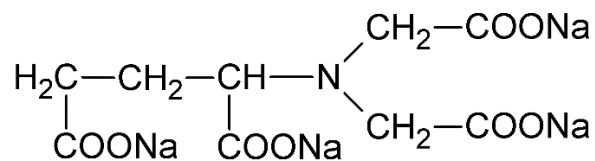


## 4. N, N'-bis(karboxymethyl)-L-glutamát tetrasodý

(Dissolvine GL-47-S -AkzoNobel)

Sekvestrační účinek tohoto prostředku je srovnatelný s EDTA a NTA. Tvoří ho převážně přírodní a obnovitelné suroviny a to více jak 60 %. Je tedy dobře biologicky

odbouratelný a GLDA-Na<sub>4</sub> se rozkládá do 28 dnů. Díky jeho vlastnostem je vhodnou alternativou k EDTA, NTA, fosfátům a fosfonátům [33,36].



## 5. Kyselina polyasparagová (PAA) a její deriváty (LANXESS)

Látka, která se používá pro přípravu kyseliny polyasparagové (PAA) a jejich solí je z velké části maleinanhydrid. Maleinanhydrid může být připraven tepelnou polymerací v přítomnosti NH<sub>3</sub> na polysukcimid a ten je poté hydrolyzován na sodnou sůl kyseliny polyasparagové, neboli polyaspartát sodný. Ten tvoří pevné vazby s ionty těžkých kovů a méně stabilní vazby s Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a Mn<sup>2+</sup> ionty. Používá se v čisticích prostředcích, detergitech a je biodegradabilní [33,34].

### ○ **Kopolymery kyseliny polyasparagové**

Kopolymery na bázi kyseliny polyasparagové mohou být například kyselina polyasparagová/kyselina citrónová, kyselina polyasparagová/kyselina jantarová a roubovaný kopolymer kyselina polyasparagová/kyselina aminobenzensulfonová [37,38].

### ○ **Kopolymery na bázi vinylalkoholu, nebo vinylacetátu**

Polyvinylalkohol je biologicky odbouratelný a rozpustný ve vodě, když je přítomen v kopolymeru. Dalším kopolymerem je kyselina akrylová, maleinanhydrid, vinylacetát. Ten se může používat jako dispergátor, nebo sekvestrant, nebo ho můžeme kombinovat s Mg<sup>2+</sup> jako stabilizátor peroxidu vodíku H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [39,40].

## **6. Dusíkatá, nebo sirná skupina s polykarboxylovými kyselinami [41]**

Sjednocení dusíkatých a sirných skupin s polykarboxylovými kyselinami, které můžeme připravit pomocí reakce mastných kyselin a thio, nebo imino skupinou s nenasycenými mastnými kyselinami, jako je kyselina fumarová, maleinová, itakonová, nebo akonitová.

Sekvestranty na bázi kyseliny fumarové, itakonové, akonitové jsou výhodné v tom, že se při syntéze používají biomateriály, a proto jsou tyto sekvestrační prostředky velice dobře biologicky odbouratelné.

## **7. Sekvestrační prostředky na bázi monosacharidů a polysacharidů [42,43,44]**

Tyto prostředky jsou dobře biologicky odbouratelné a používají se k jejich přípravě obnovitelné zdroje.

### **○ Sekvestranty na bázi oxidovatelných polysacharidů**

Tyto sekvestrační prostředky obsahují karboxylové skupiny, které vzniknou reakcí oxidací škrobu, nebo derivátů polysacharidů chlornanem, chloritanem sodným, nebo kyselinou jodistou.

### **○ Kopolymery na bázi kyseliny akrylové s monosacharidy**

Tyto sekvestranty jsou biologicky odbouratelné. Jako monosacharid se nejvíce používá glukosa ve formě endiolu.

### **○ Roubované oligosacharidy a polysacharidy**

Pro roubování se využívají nenasycené monomery jako například kyselina akrylová, kyselina methakrylová, maleinová, fumarová apod. Díky tomu, že mají sacharidovou část jsou lépe biologicky odbouratelné než kopolymery kyseliny akrylové.

### 3. CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo:

1. Vyhodnotit povrchovou aktivitu chelatačních tenzidů pomocí měření povrchového napětí stalagmometrickou metodou.
2. Stanovit sekvestrační kapacitu chelatačních tenzidů a sekvestračních prostředků vůči vápenatému iontu  $\text{Ca}^{2+}$  při teplotách 20 a 90 °C a v závislosti na hodnotě pH.
3. Vyhodnotit sekvestrační schopnost vývojových vzorků vůči vápenatému iontu  $\text{Ca}^{2+}$  metodou opakovaného modelového praní bavlněné tkaniny v tvrdé vodě 22 °dH. Výsledek praní vyhodnotit stanovením obsahu popelu a vápenatému iontu  $\text{Ca}^{2+}$  na bavlněné tkanině po praní.

## 4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 4.1. Seznam chemikálií

Tabulka č. 5: Seznam použitých chemikálií

Amoniak, vodný roztok 25 % ( $\text{NH}_3+\text{aq}$ )	Lach- Ner, s.r.o., Neratovice
Baypure CX 100 solid G ( $\text{C}_8\text{H}_7\text{NO}_8\text{Na}_4$ )	LANXESS Deutschland GmbH
Dissolvine GL-47-S	Comercial Quimica Masso S. A.
Enviomet <sup>TM</sup> C140	INNOSPEC PERFORMANCE CHEMICASLS
Eriochromová čerň T ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$ )	Lachema n. p. Brno
Hydroxid sodný p. a. ( $\text{NaOH}$ )	Lach- Ner, s.r.o., Neratovice
Hexahydrát chloridu vápenatého ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	Lachema a.s. Brno
ChelatonIII ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	Lachema a s. Brno
Karboxymethylcelulosa (CMC)	Blanose Refined CMC by Hercules Incorporated
Kyselina octová ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	Lach- Ner, s.r.o., Neratovice
Murexid ( $\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_6$ )	Lach- Ner, s.r.o., Neratovice
Síran sodný, bezvodý ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	Lachema a.s. Brno
Sodium dodecylsulfate ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$ )	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Uhličitan sodný, bezvodý ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	Lachema a.s. Brno
Vodní sklo, tech. (vodný roztok $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )	Lakmal Verněřice, s.r.o
Vzorek č. 1 až č. 7	Připraveno na ÚCHTML v Pardubicích
Vzorek č. 9	Připraveno na ÚCHTML v Pardubicích
Vzorek č. 10	Připraveno na ÚCHTML v Pardubicích

## 4.2. Seznam použitých přístrojů

- Ahiba Nuance Top Speed II B (Datacolor, USA)
- Analytické váhy Kern 770
- Digitální pH metr Mettler Toledo
- Laboratorní váhy Kern KB
- Spektrofotometr Spekol 11 (Carl Zeiss)
- Stalagometr
- Sušárna Memmert



Obrázek č. 6: Aparát Ahiba Nuance Top Speed II B

### 4.3. Složení použitých vzorků

Použité vzorky byly připraveny na ÚCHTML v Pardubicích (Ústavu chemie a technologie makromolekulárních látek). Jedná se o vzorky biologicky odbouratelných sekvestračních prostředků a samosekvestrujících tenzidů. Z důvodu patentové ochrany zde není uveden postup přípravy.

Tabulka č. 6: Seznam vývojových vzorků

Vývojové vzorky	chemická struktura
Vzorek č. 1	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{COONa} \\    \\  \text{NaOOC}-\text{CH}-\text{N}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH} \\  / \quad \backslash \\  \text{NaOOC} \quad \text{CH}_2-\text{COONa}  \end{array}  $ <p>Tetrasodná sůl N-dodecyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)</p>
Vzorek č. 2	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{COONa} \\    \\  \text{NaOOC}-\text{CH}-\text{N}-(\text{CH}_2)_8-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH} \\  / \quad \backslash \\  \text{NaOOC} \quad \text{CH}_2-\text{COONa}  \end{array}  $ <p>Tetrasodná sůl N-oleyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)</p>
Vzorek č. 3	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{COOK} \\    \\  \text{KOOC}-\text{CH}-\text{N}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH} \\  / \quad \backslash \\  \text{KOOC} \quad \text{CH}_2-\text{COOK}  \end{array}  $ <p>Tetradraselná sůl N-dodecyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)</p>



<p><b>Vzorek č. 4</b></p>	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{COOK} \\   \\ \text{KOOC}-\text{CH}-\text{N}-(\text{CH}_2)_8-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{KOOC} \quad \text{CH}_2-\text{COOK} \end{array}$ <p>Tetradraselná sůl N-oleyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny</p>
<p><b>Vzorek č. 5</b></p>	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{COONa} \\   \\ \text{HC}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_8-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3 \\   \\ \text{COONa} \end{array}$ <p>Disodná sůl N-oleyl asparagové kyseliny (1:1)</p>
<p><b>Vzorek č. 6</b></p>	$\begin{array}{c} \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COONa} \\   \\ \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{NH} \\   \\ \text{COONa} \end{array}$ <p>Tetrasodná sůl N-(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny</p>
<p><b>Vzorek č. 7</b></p>	$\begin{array}{c} \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COONa} \\   \\ \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{N}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COONa} \\   \quad   \\ \text{COONa} \quad \text{COONa} \end{array}$ <p>Hexasodná sůl N,N-bis(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny</p>
<p><b>Vzorek č. 9</b></p>	$\begin{array}{c} \text{COONa} \quad \text{COONa} \\   \quad   \\ \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{NH}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COONa} \end{array}$ <p>Tetrasodná sůl N- (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:1)</p>

<b>Vzorek č. 10</b>	$  \begin{array}{c}  \text{COONa} \quad \text{COONa} \\    \quad \quad   \\  \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{N}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COONa} \\    \quad \quad   \\  \text{HC}-\text{COONa} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{COONa}  \end{array}  $ <p>Hexasodná sůl N,N-di(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)</p>
---------------------	--

**Tabulka č. 7: Seznam použitých komerčních vzorků**

Komerční vzorky	chemická struktura
<b>Vzorek č. 11</b>	$  \begin{array}{c}  \text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{NH}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COONa} \\    \quad \quad   \\  \text{COONa} \quad \text{COONa}  \end{array}  $ <p>Baypure-iminodisukcinát tetrasodný</p>
<b>Vzorek č. 12</b> <b>sušina 67%</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{N} \\    \quad \quad   \quad \quad / \quad \quad \backslash \\  \text{COONa} \quad \text{COONa} \quad \text{CH}_2-\text{COONa} \quad \text{CH}_2-\text{COONa}  \end{array}  $ <p>Dissolvine GL 47S Tetrasodná sůl N,N-bis(karboxymethyl) glutamové kyseliny</p>
<b>Vzorek č. 13</b> <b>sušina 47,9%</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{COONa} \quad \quad \quad \text{H}_2\text{C}-\text{COONa} \\    \quad \quad \quad \quad \quad \quad   \\  \text{HC}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH} \\    \quad \quad \quad \quad \quad \quad   \\  \text{COONa} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{COOH}  \end{array}  $ <p>Enviomet Trisodná sůl ethylendiamin-N,N'-dijantarové kyseliny</p>

#### 4.4. Stanovení sušiny

Do váženky na analytických vahách bylo naváženo přibližně 4 g vzorku. Hodnocený vzorek byl sušen v sušárně při teplotě 80°C do konstantní hmotnosti.

Sušina se poté vypočítala dle vztahu:

$$P = [(m_2 - m_v) / (m_1 - m_v)] * 100$$

$m_v$  = hmotnost čisté navážky

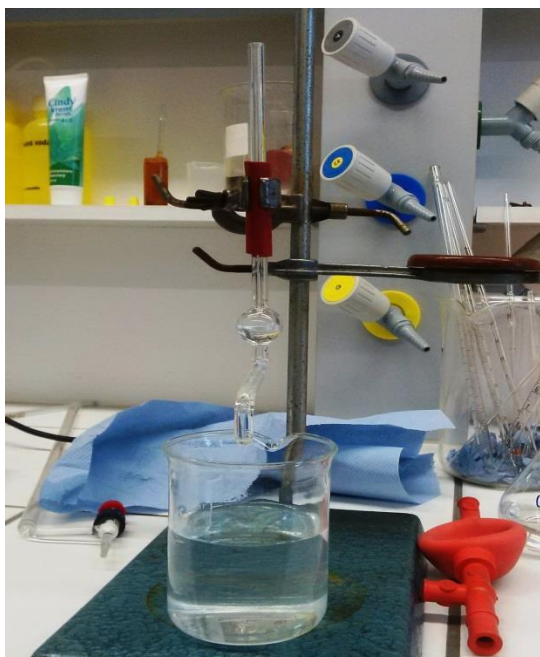
$m_1$  = hmotnost váženky se vzorkem před sušením

$m_2$  = hmotnost váženky se vzorkem po sušení

$P$  = sušina [%]

#### 4.5. Stanovení povrchového napětí

Při laboratorní teplotě 20 °C bylo provedeno stanovení povrchového napětí pomocí stalagmometru (obrázek č. 7). Principem bylo porovnávání počtu kapek známé kapaliny  $n_1$  (např. destilovaná voda) s daným povrchovým napětím  $\gamma_1$  a počty kapek měřené kapaliny  $n_x$ , u které povrchové napětí  $\gamma_x$  stanovujeme. Stalagmometr zakončuje tlustostěnná kapilára, která je na konci rozšířená a zabroušená.



Obrázek č. 7: Stalagmometr-pro stanovení povrchového napětí

#### 4.5.1. Příprava vzorku na měření povrchového napětí

Pro jednotlivé vzorky byla vytvořena koncentrační řada 0,1; 0,25; 0,75; 1; 1,5 a 2 g/l. Roztoky byly připraveny do odměrných baněk 250 ml. Přepočítané množství vzorku bylo naváženo a následně rozpuštěno ve 100 ml destilované vody a po důkladném rozpuštění vzorku byla odměrná banka doplněna destilovanou vodou po rysku.

#### 4.5.2. Metoda počítání kapek – stanovení povrchového napětí

Měření probíhalo tak, že se pomocí balónku nasaje do stalagmometru přes kapiláru měřená kapalina. Hladina kapaliny byla ve stalagmometru nastavena nad horní rysku. Následně se kapalina nechá vytéci a počítají se kapky, které vyšly, dokud hladina měřeného roztoku neprošla dolní ryskou. Pro každou koncentraci bylo provedeno pět měření stalagmometrickou metodou a z toho se následně vypočítal průměr.

### 4.5.3. Výpočet povrchového napětí

Výpočet měřené kapaliny vychází ze vztahu, kdy se porovnává měřená kapalina a srovnávací kapalina (v tomto případě destilovaná voda).

Výpočet:

$$n_x \cdot \gamma_x = n_1 \cdot \gamma_1$$

$$\Rightarrow \gamma_x = (n_1 \cdot \gamma_1) / n_x$$

$n_x$  udává počet kapek měřené kapaliny, u které stanovujeme povrchové napětí

$\gamma_x$  povrchové napětí měřené kapaliny

$n_1$  udává počet kapek známé kapaliny, u které známe povrchové napětí

$\gamma_1$  povrchové napětí známé kapaliny

Povrchové napětí je pro destilovanou vodu  $\gamma_1 = 72,75 \cdot 10^{-3}$  N/ m při 20 °C a počet kapek je 48.

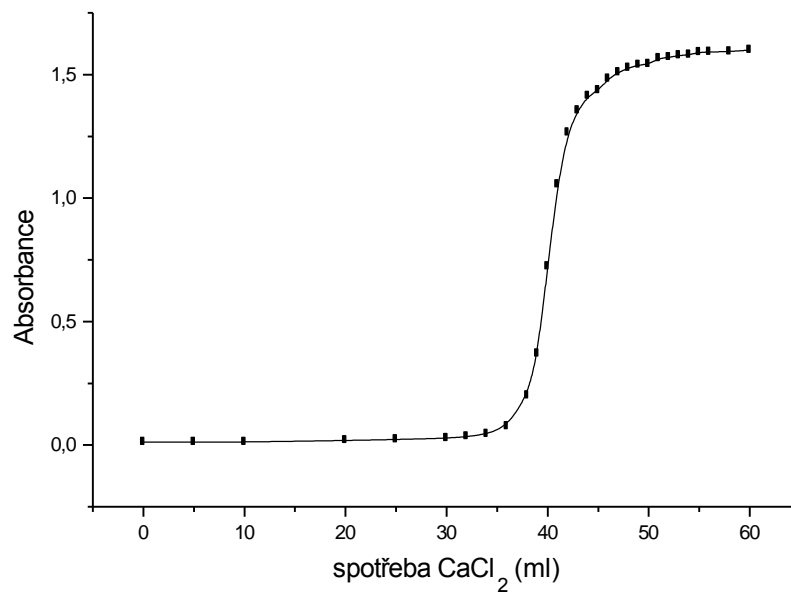
$$\gamma_x = (48 \cdot 72,75 \cdot 10^{-3}) / n_x$$

### 4.6. Stanovení sekvestrační kapacity

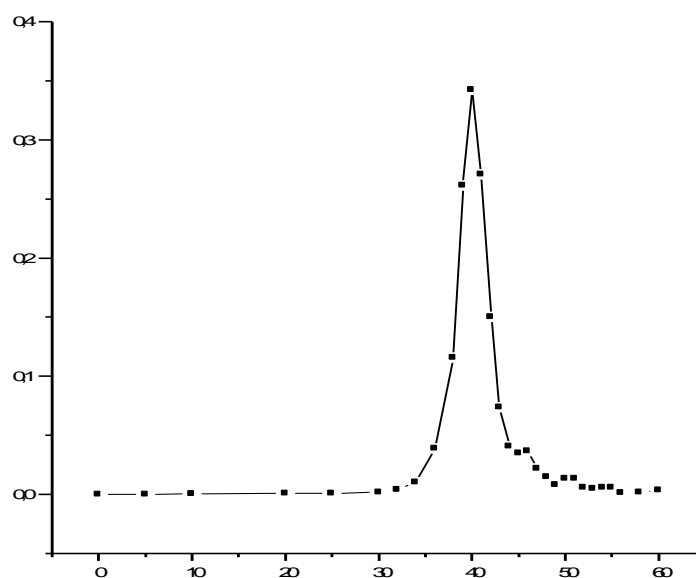
Sekvestrační kapacita byla stanovena pomocí spektrofotometrické titrace. Roztok posuzovaného vzorku, který byl připraven, byl titrován roztokem  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  až do konstantní hodnoty absorpance. V průběhu titrace byly hodnoty absorpance pravidelně zapisovány. Absorbance byla měřena při vlnové délce 650 nm, v kyvetě, 1 cm. Absorbance byla měřena na spektrofotometru Spekol 11 firmy Carl Zeiss.

#### 4.6.1. Vyhodnocení sekvestrační kapacity

Hodnoty absorbance, které byly naměřeny na spektrofotometru Spekol 11 byly vyneseny do grafu v závislosti na objemu přidaného titračního roztoku  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (viz. obrázek č. 8.). Hodnota objemu titračního odměrného roztoku byla získána z první derivace titrační křivky (viz. obrázek č. 9).



Obrázek č. 8: Příklad titrační křivky při spektrofotometrické titraci



Obrázek č. 9: Příklad první derivace titrační křivky

#### 4.6.2. Výpočet sekvestrační kapacity

$$S = V \cdot a / P \cdot m$$

**S**= sekvestrační kapacita [mg Ca<sup>2+</sup>/1 g]

**V**= spotřeba odměrného roztoku CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O v bodě ekvivalence [ml]

**a**= množství sekvestrovaného iontu [ml/ 1 ml titračního roztoku]

**P**= sušina vzorku

**m**= navážka vzorku [g]

### 4.6.3. Příprava odměrného roztoku chloridu vápenatého

V převařené destilované vodě byla rozpuštěna navážka 45,4 g/l  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a následně byl roztok filtrován přes skládaný filtrační papír a filtrát byl vrácen zpět do 1l odměrné baňky a následně doplněn po rysku taktéž převařenou destilovanou vodou. Poté bylo provedeno přesné stanovení obsahu  $\text{Ca}^{2+}$  iontů v 1 ml tohoto roztoku.

### 4.6.4. Stanovení obsahu $\text{Ca}^{2+}$ v 1 ml odměrného roztoku

Z připraveného odměrného roztoku  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  bylo odpipetováno 5 ml do 100 ml odměrné baňky (ředění 1:20). Poté byla doplněna destilovanou vodou po rysku. Do kádinky 250 ml bylo přidáno 2 ml 1 N NaOH, aby hodnota pH odpovídala 12. K titraci bylo odpipetováno 50 ml naředěného roztoku. Tento roztok byl titrován 0,02 M roztokem Chelatonu III na indikátor murexid a barevný přechod, který byl z červeného do fialového zbarvení.

Výpočet koncentrace vápníku (odpovídá 1 ml 0,02 M Chelatonu III):

$$a = c_{\text{ChIII}} \cdot M_{\text{Ca}}$$

$$a = 0,02 \cdot 103 \cdot 40,08$$

$$a = 0,0816 \text{ mg/1 ml Chelatonu III (0,02M)}$$

$a$  = množství vápníku v mg, které odpovídá 1 ml 0,02 M Chelatonu III

$c_{\text{ChIII}}$  = molární koncentrace odměrného roztoku Chelatonu III [mol/ml]

$M_{\text{Ca}}$  = molekulová hmotnost vápníku [g/mol]



### Výpočet množství vápníku v roztoku CaCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O:

$$m_{\text{Ca}^{2+}} = Z \cdot V_{\text{sp}} \cdot a$$

$$m_{\text{Ca}^{2+}} = 400 \cdot V_{\text{sp}} \cdot 0,8016$$

$m_{\text{Ca}^{2+}}$  = množství vápníku [g/mol]

$Z$  = zředovací faktor roztoku

$a$  = množství vápníku v mg, které odpovídá 1 ml 0,02 M Chelatonu III [mg/ml]

$V_{\text{sp}}$  = spotřeba odměrného roztoku 0,02 M Chelatonu III [ml]

$$a = m_{\text{Ca}^{2+}} / V$$

$a$  = koncentrace vápníku v roztoku CaCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O [mg/ml]

$m_{\text{Ca}^{2+}}$  = množství vápníku [mg]

$V$  = objem [1000 ml]

## **4.7. Hodnocení vývojových vzorků v opakovaném modelovém praní**

Připravené vývojové vzorky samosekvestrujících tenzidů a chelatačních prostředků byly testovány v opakovaném modelovém praní (20 praní v tvrdé vodě 22°dH). Detergentu bylo dávkováno 7g/l. K modelovému detergentu byly přidány vzorky jednotlivých vývojových vzorků samosekvestrujících tenzidů a chelatačních prostředků. K modelovému praní byla použita bavlněná předupravená tkanina.

#### **4.7.1. Složení modelového detergentu**

Byly potřeba tyto chemikálie:

- 9 g vodního skla
- 3 g karboxymethylcelulosy
- 36 g uhličitanu sodného
- 57 g síranu sodného

V 245 ml destilované vody byly všechny tyto chemikálie rozpuštěny a následně byly převedeny do lahve, kde se třepáním smísily.

#### **4.7.2. Poměr modelového detergentu a bavlněné tkaniny**

Předupravené bavlněné tkaniny bylo použito 20 g a destilované vody 200 ml (délka lázně 1:10). Modelového detergentu bylo potřeba 1,63 g (7g/l), 200 ml tvrdé vody a vývojového vzorku bylo potřeba 0,91 g (vztaženo na sušinu).

#### **4.7.3. Příprava tvrdé vody o 22 °dH**

V 1 l vody je obsaženo 10 mg CaO německých stupňů tvrdosti (°dH). Na jeden německý stupeň tvrdosti je potřeba 39,06 mg  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  v 1 l destilované vody. Množství  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , které bylo použito na přípravu tvrdé vody o 22 °dH, které by odpovídalo potřebné tvrdosti vody. Například: pro přípravu 1 l tvrdé vody o 22 °dH by bylo potřeba 0,8593 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

#### 4.7.4. Ověření tvrdé vody

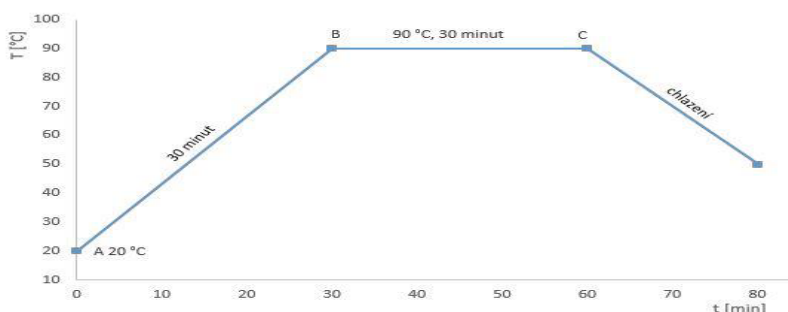
Připravené tvrdé vody bylo odpipetováno 200 ml do titrační baňky a následně byl přidán tlumivý roztok, 10 ml. Jako indikátor byla použita eriochromová čerň T a titrovalo se odměrným roztokem Chelatonu III. Barevný přechod probíhal z vínově červené do čisté modré barvy. Naměřená spotřeba (v ml) odpovídá tvrdosti vody v německých stupních.

#### 4.7.5. Složení roztoku Chelatonu III potřebného pro titraci

Na analytických vahách bylo naváženo 13,270 g Chelatonu III a navážka byla poté kvantitativně převedena do 1 l odměrné baňky a rozpuštěna v destilované vodě. Po rozpuštění navážky byla odměrná baňka doplněna po rysku destilovanou vodou.

#### 4.7.6. Modelové praní v aparátu Ahiba Nuance Top Speed II B

V aparátu Ahiba Nuance Top Speed II B byl naprogramován časově-teplotní režim praní (viz. obrázek č. 10). 20° C byla počáteční teplota (bod A) , během 30 minut byla dosažena teplota 90° C (bod B) a následně probíhalo praní za konstantní teploty za dalších 30 minut. V bodě C probíhalo ochlazování a oplachování praného materiálu. Vypraný materiál byl propírán v normální a v destilované vodě. Sušen byl při pokojové teplotě a praní a sušení stejného materiálu bylo opakováno dohromady 20krát.



Obrázek č. 10: Časově-teplotní režim praní

#### 4.7.7. Stanovení množství popela

Vzorky vyprané tkaniny byly vyžihány v platinovém kelímku, který byl před tím také přežihán, zvážen s nastříhanou tkaninou a poté chladi s vyžiháným popelem v exikátoru a následně byl opět zvážen, popel byl převeden do ampule a platinový kelímek byl důkladně vymyt destilovanou vodou a znovu byl použit.

$$\% = \frac{m \text{ popela}}{m \text{ tkaniny}}$$

#### 4.7.8. Stanovení množství vápníku

Z vyžihaného popela bylo stanoveno množství vápníku  $\text{Ca}^{2+}$  pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem na ÚEnviCHI v laboratoři na univerzitě v Pardubicích.

#### Výpočet množství vápníku $\text{Ca}^{2+}$ v gramech na 1 kg textilního materiálu.

Výpočet byl proveden přímou úměrou.

množství vápníku  $\text{Ca}^{2+}$  ve vzorku [g] ..... hmotnost bavlny před spálením [g]

x [g] ..... 1000 g textilního materiálu

## 5. VÝSLEDKY A DISKUSE

### 5.1. Hodnocení vývojových vzorků chelatačních tenzidů

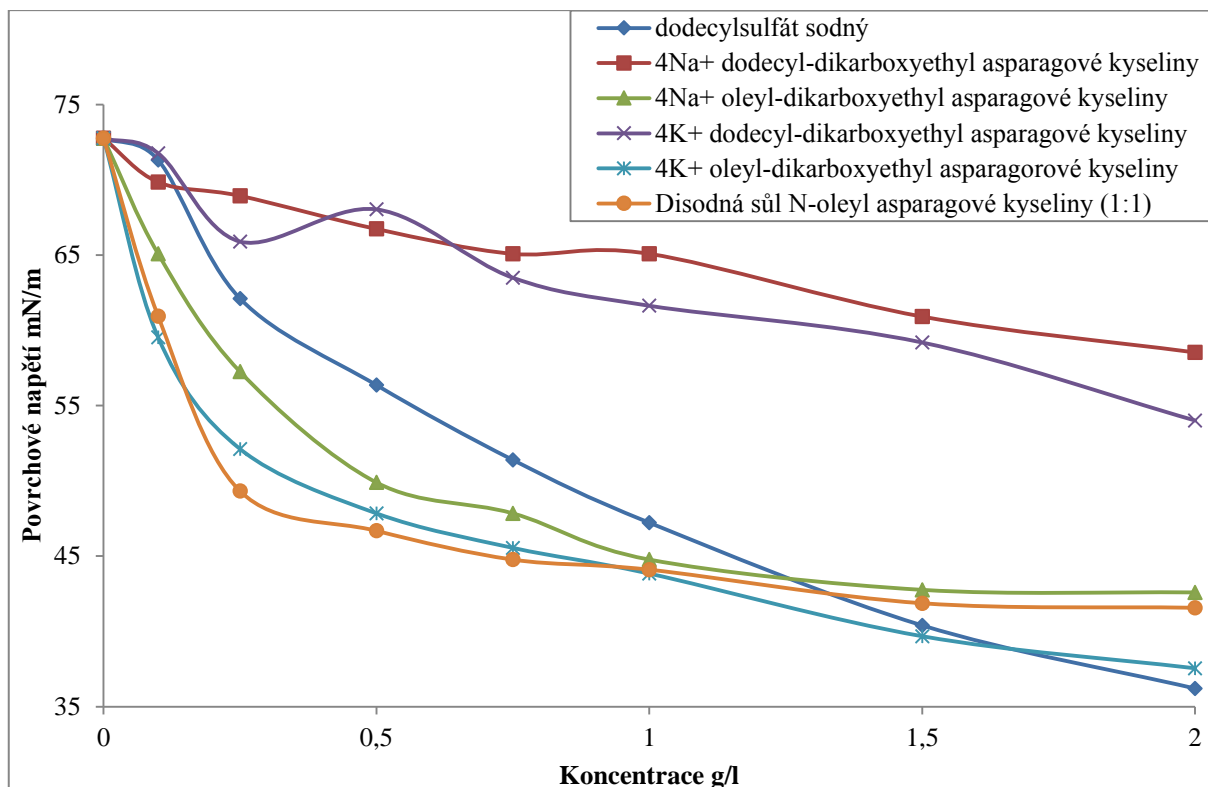
Bylo hodnoceno celkem 5 vzorků chelatačních tenzidů a to 2 typy na bázi:

- a) Reakce dodecylaminu a maleinanhydridu v poměru (1:2) ve formě  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  soli;
- b) Reakce oleylaminu a maleinanhydridu v poměru (1:1) a (1:2) ve formě  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  soli.

Modifikace, která byla provedena změnou molárního poměru byla provedena z důvodu navýšení počtu karboxylových skupin  $-\text{COOH}$  a tím byl předpoklad k tomu, že by se měla zvýšit sekvestrační účinnost.

U anionaktivních tenzidů je draselná sůl  $\text{K}^+$  rozpustnější než sodná sůl  $\text{Na}^+$ , což se i potvrdilo v tomto experimentu. Tento fakt by mohl mít vliv na měření, která jsou provedena za laboratorní teploty  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Povrchové napětí vývojových vzorků povrchového napětí bylo stanoveno stalagmometrickou metodou při laboratorní teplotě  $20\text{ }^\circ\text{C}$  a tyto hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. graf č. 1).



Graf č. 1: Závislost povrchového napětí na koncentraci

Z grafu vyplývá, že se vzrůstající koncentrací klesá povrchové napětí. Chelatační tenzidy se tedy chovají jako povrchově aktivní látky (PAL) a naměřené hodnoty jsou porovnatelné s komerčním vzorkem dodecylsulfátu sodného (SDS). Vyšší aktivitu vykazují vzorky na bázi oleylu, nicméně zde nejsou výrazné rozdíly u draselné  $K^+$  a  $Na^+$  soli, ale přece jen draselná  $K^+$  sůl má nižší hodnoty než sodná  $Na^+$  sůl.

Obecně platí, že čím je delší alkylový řetězec, tím narůstá povrchová aktivita, ale klesá rozpustnost. Navýšení  $-COOH$  skupin v molekule pomocí modifikace molárního poměru zde nemělo výrazný vliv.

## 5.2. Hodnocení sekvestrační účinnosti u vývojových vzorků chelatačních tenzidů

Sekvestrační kapacita byla stanovena vůči iontům  $\text{Ca}^{2+}$  při různých hodnotách pH (pH 9 až 12) srážecí zákalovou titrací při 20 °C a při 90 °C.

V porovnání s klasickými sekvestranty není zde sekvestrační účinnost příliš vysoká. Chelatační tenzidy nemusí plnit pouze funkci sekvestrantů, ale zároveň mohou v lázni působit jako povrchově aktivní látky (PAL).

Sekvestrační kapacita u vývojových vzorků se pohybuje kolem max. 20 mg  $\text{Ca}^{2+}$ / 1g (viz. tabulky č. 8, 9, 10, 11 a 12). Nejvyšších hodnot dosahuje vzorek na bázi oleylu v poměru (1:1). Modifikací karboxylových skupin  $-\text{COOH}$  pomocí molárního poměru se nepodařilo navýšit sekvestrační účinnost. Tento efekt se bohužel potvrdil už i v předešlých výzkumech. Sekvestrační účinnost nemusí být ovlivněna pouze počtem karboxylových skupin, ale také může být ovlivněna strukturou molekuly.

Při 90 °C nedochází k výraznému poklesu sekvestrační kapacity, což u jiných typů sekvestrantů dochází výrazně. Modifikace formy  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  soli v tomto případě nemá výrazný vliv na sekvestrační účinnost. Naměřené hodnoty se liší řádově v jednotkách.

**Tabulka č. 8: Tetrasodná sůl N-dodecyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)**

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg $\text{Ca}^{2+}$ /1g)	
	20°C	90°C
9	8,9	9,7
10	8,9	8,8
11	20,0	11,2
12	14,6	5,2

**Tabulka č. 9: Tetrasodná sůl N-oleyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)**

<b>Hodnota pH</b>	<b>Sekvestrační kapacita S (mg Ca<sup>2+</sup>/1g)</b>	
	<b>20°C</b>	<b>90°C</b>
<b>9</b>	19,3	7,3
<b>10</b>	12,1	15,3
<b>11</b>	15,0	17,6
<b>12</b>	12,3	17,9

**Tabulka č. 10: Tetradraselná sůl N-dodecyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)**

<b>Hodnota pH</b>	<b>Sekvestrační kapacita S (mg Ca<sup>2+</sup>/1g)</b>	
	<b>20°C</b>	<b>90°C</b>
<b>9</b>	10,9	7,5
<b>10</b>	11,0	6,5
<b>11</b>	13,7	7,4
<b>12</b>	14,7	11,9



Tabulka č. 11: Tetradoraselná sůl N-oleyl-N- (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
9	5,0	7,4
10	14,8	12,0
11	11,3	9,0
12	18,5	15,6

Tabulka č. 12: Disodná sůl N-oleyl asparagové kyseliny (1:1)

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
9	7,7	-
10	21,3	21,4
11	22,2	7,0
12	29,9	22,5

### 5.3. Hodnocení vývojových vzorků sekvestračních prostředků

Byly hodnoceny 2 typy vývojových vzorků sekvestračních prostředků na bázi kyseliny glutamové (viz. tabulky č. 13, 14):

- a) v molárním poměru (1:1)
- b) v molárním poměru (1:2)

A dále byly hodnoceny 3 vzorky komerční (viz. tabulky č. 15, 16 a 17).

Pokud se jedná o modifikaci navýšení počtu karboxylových skupin -COOH, tak se to zde výrazně neprojevilo. Avšak naměřené hodnoty u vzorku č. 6 jsou porovnatelné s komerčními vzorky. Z hlediska počtu karboxylových skupin -COOH jsou na tom stejně.

Sekvestrační účinnost ovlivňuje hodnota pH, teplota T, počet karboxylových skupin -COOH, ale také celkovou strukturou molekuly a také může být otázkou rovnováhy sekvestrantu a vzniklých komplexů s vápenatými kationty  $\text{Ca}^{2+}$ .

Hodnoty sekvestrační účinnosti jsou v tabulce č. 13-17 uvedeny pouze při pH 11 a 12, a to z důvodu, že při nižších hodnotách pH, tzn. při pH 9 a 10 nedocházelo ke vzniku zákalu a tím pádem nebylo možné stanovit sekvestrační kapacity jak u vývojových vzorků, tak i u vzorků komerčních, což bylo popsáno i v předchozích výzkumech.

Tabulka č. 13: Tetrasodná sůl N-(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
11	149,3	105,7
12	150,6	92,3

Tabulka č. 14: Hexasodná sůl N,N-bis(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
11	138,5	79,7
12	141,65	80,7

Tabulka č. 15: Baypure-iminodisukcinát tetrasodný

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
11	168,96	126,4
12	157,07	120,07

Tabulka č. 16: Dissolvine GL 47 S

Tetrasodná sůl N,N-bis(karboxymethyl) glutamové kyseliny

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
11	127,2	100,4
12	114,9	100,1

Tabulka č. 17: Enviomet

Trisodná sůl ethylendiamin-N,N'-dijantarové kyseliny

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
11	167,97	96,8
12	136,74	105,1

#### 5.4. Hodnocení vývojových vzorků v modelovém praní

Sekvestrační prostředky jsou součástí detergentů. Buď jsou obsaženy přímo v detergentech, nebo se mohou dávkovat samostatně.

Hodnocení tohoto sekundárního praní, kde se posuzovaly usazeniny na praném materiálu, bylo provedeno stanovením množství popela a Ca<sup>2+</sup> iontu v opakovaném modelovém praní 20krát v tvrdé vodě o 22 °dH. Je známo, že bavlněná tkanina je sama zdrojem vápenatého iontu Ca<sup>2+</sup>. Námí používaná bavlněná tkanina obsahovala množství popela 0,10 % a množství vápenatého iontu 0,23 g Ca<sup>2+</sup>/1 kg textilního materiálu. V tabulce č. 18 je uvedeno složení jednotlivých patron, které byly použity pro 20násobné modelové praní v tvrdé vodě o 22 °dH.

Hodnota pH lázní se pohybovala pH=10,5-11, tedy v alkalické oblasti. Vizually byl také hodnocen zákal lázní a pěnivost.

Tabulka č. 18: Složení lázně patron pro modelové praní

Patrony	složení lázně	pH lázně	zákal	Pěnivost
slepá patrona 1	modelový detergent+ tvrdá voda	10,4	slabý zákal	-
patrona 2	modelový detergent+ tvrdá voda + Tetrasodná sůl N-dodecyl-N-(1,2-dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)	10,6	nejsilnější zákal	Pění
patrona 3	modelový detergent+ tvrdá voda + Tetrasodná sůl N-oleyl-N-(1,2-dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)	10,7	silnější zákal	Pění
patrona 4	modelový detergent+ tvrdá voda + Tetradraselná sůl N-dodecyl-N-(1,2-dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)	10,2	silný zákal	Pění
patrona 5	modelový detergent+ tvrdá voda + Disodná sůl N-oleyl asparagové kyseliny (1:1)	10,8	silnější zákal	Pění

<b>patrona 6</b>	<p>modelový detergent+ tvrdá voda</p> <p>+</p> <p>Tetradraselná sůl N-oleyl-N- (1,2-dikarboxyethyl) asparagové kyseliny</p>	10,4	-	Pění
<b>patrona 7</b>	<p>modelový detergent+ tvrdá voda</p> <p>+</p> <p>Tetrasodná sůl N-(1,2-dikarboxyethyl)glutamové kyseliny</p>	10,3	-	-
<b>patrona 8</b>	<p>modelový detergent+ tvrdá voda</p> <p>+</p> <p>Hexasodná sůl N,N-bis(1,2-dikarboxyethyl)glutamové kyseliny</p>	10,5	-	-
<b>patrona 9</b>	<p>modelový detergent+ tvrdá voda</p> <p>+</p> <p>Baypure-iminodisukcinát tetrasodný</p>	11	-	-
<b>patrona 10</b> <b>sušina</b> <b>67%</b>	<p>modelový detergent+ tvrdá voda</p> <p>+</p> <p>Dissolvine GL 47 S</p> <p>Tetrasodná sůl N,N-bis(karboxymethyl) glutamové kyseliny</p>	11	-	-
<b>patrona 11</b> <b>sušina</b> <b>47,9%</b>	<p>modelový detergent+ tvrdá voda</p> <p>+</p> <p>Enviomet</p> <p>Trisodná sůl ethylendiamin-N,N'-dijantarové kyseliny</p>	10	-	-

<b>patrona 12</b>  <b>směs</b>	modelový detergent+ tvrdá voda + Tetrasodná sůl N- (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:1) + Tetrasodná sůl N- (1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny	10,6	-	-
<b>patrona 13</b>  <b>směs</b>	modelový detergent+ tvrdá voda + Hexasodná sůl N,N-di(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2) + Hexasodná sůl N,N-bis(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny	10,7	-	-

Z naměřených hodnot vyplývá, že bez přídavku sekvetrantu byl zaznamenán významný nárůst vápenatého iontu  $\text{Ca}^{2+}$  až na 15 g  $\text{Ca}^{2+}$ /1 kg textilního materiálu. Když do lázně přidáme látku se sekvestračním účinkem, tak se nám výrazně sníží počet úsad na materiálu. Tento jev byl pozorován u všech vzorků, ať už se jednalo o vývojové vzorky chelatačních tenzidů, vývojové vzorky sekvestračních prostředků, nebo komerčních vzorků.

Tabulka č. 19: Vypočtené hodnoty pro opakované modelové praní

Patrona	Hmotnost bavlny před spálením [g]	Hmotnost bavlny po spálení [g]	Množství Ca <sup>2+</sup> ve vzorku [g]	Množství vápníku Ca <sup>2+</sup> v gramech na 1 kg textilního materiálu	% popela
1	20,1622	0,6416	0,30656	15,20	3,18
2	19,5971	0,421	0,1884	9,61	2,15
3	17,7408	0,1582	0,0607	3,42	0,89
4	17,6993	0,4735	0,1965	11,10	2,68
5	18,3349	0,2065	0,0809	4,41	1,13
6	18,3368	0,1453	0,0623	3,39	0,79
7	17,8228	0,0797	0,0352	1,97	0,45
8	18,4491	0,6497	0,2776	15,04	3,52
9	18,1106	0,0136	0,0042	0,23	0,08
10	17,8147	0,0034	0,0011	0,06	0,02
11	17,6474	0,0151	0,0046	0,26	0,09
12	17,2812	0,0088	0,0030	0,17	0,05
13	17,5987	0,0163	0,0047	0,26	0,09

U vývojových vzorků chelatačních tenzidů je slabší sekvestrační účinnost v modelovém praní, ale pořadí je lepší, než bez přídavku sekvestrantu. Ze vzorků chelatačních tenzidů se nejlépe projeví vzorky na bázi oleylu, ať už tetradraselné K<sup>+</sup>, nebo tetrasodné Na<sup>+</sup> soli. Nejlepší hodnota, která byla naměřena je 3,4 g Ca<sup>2+</sup>/1 kg textilního materiálu.

V této diplomové práci byly hodnoceny 2 typy sekvestračních prostředků a to na bázi kyseliny glutamové v molárním poměru (1:1) a (1:2). V modelovém praní se lépe projevilo účinek vývojového vzorku připraveného v poměru 1:1, naopak vzorek připravený v molárním poměru 1:2 je zklamáním a vytváří na materiálu výrazné úsady.



U vzorků komerčních bylo dosaženo výborných výsledků a těmto hodnotám se vyrovnávají použité kombinace. Jak můžeme vidět na snímcích z REM, vlákna jsou u komerčních vzorků téměř bez úsad. Nejlepší hodnota byla dosažena u Dissolvine GL 47 S a to 0,06 g Ca<sup>2+</sup>/1 kg textilního materiálu.

Použité kombinace vždy dvou vývojových sekvestračních prostředků byly realizovány na základě předchozích výzkumů ve snaze prokázání synergického účinku v modelovém praní. Byly použity kombinace vzorků na bázi kyseliny glutamové (tyto jsou hodnoceny v rámci této práce) a vzorky na bázi kyseliny asparagové (hodnoty sekvestrační kapacity těchto vzorků jsou obsaženy v příloze (viz. tabulky 21, 22). Synergický účinek se zde projevil a došlo k výraznému snížení úsad na praném materiálu (viz. tabulka 19, patrony 12, 13).

## **5.5. Snímky povrchu bavlněného materiálu po opakovaném modelovém praní**

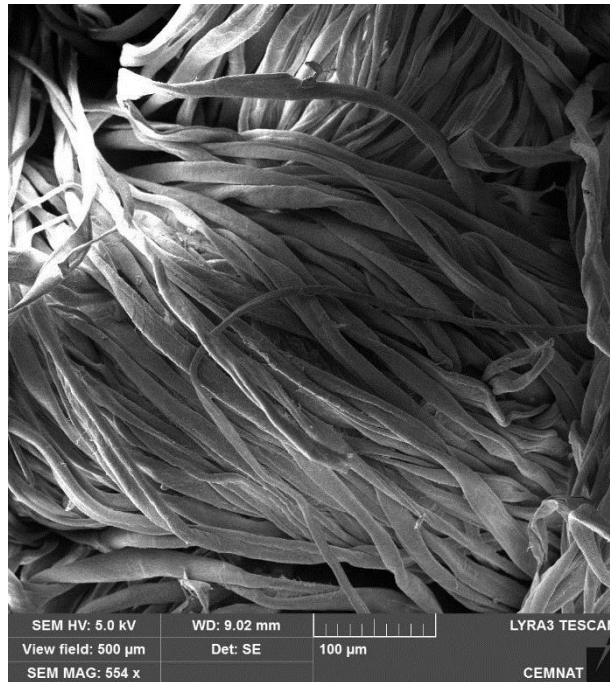
Snímek byl vytvořen pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu. Vzorek materiálu o velikosti cca 5 × 5 cm, který byl použit, byl odstřížen z prané tkaniny za modelových podmínek. Je nutné vzít v úvahu, že je zde zobrazena pouze malá část bavlněného materiálu. Vzhled, který vidíme na snímcích, souvisí s obsahem vápenatého iontu Ca<sup>2+</sup>, který je usazen na bavlněné tkanině.



**Obrázek č. 11: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 1)**



**Obrázek č. 12: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 2)**



**Obrázek č. 13: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 3)**



**Obrázek č. 14: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 4)**



**Obrázek č. 15: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 5)**



**Obrázek č. 16: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 6)**



**Obrázek č. 17: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 7)**



**Obrázek č. 18: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 8)**



Obrázek č. 19: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 9)



Obrázek č. 20: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 10)



**Obrázek č. 21: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 11)**



**Obrázek č. 22: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 12)**



**Obrázek č. 23: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 13)**



## 6. ZÁVĚR

1) Povrchová aktivita komerčního dodecylsulfátu sodného (SDS) je za stejných podmínek srovnatelná s povrchovou aktivitou chelatačních tenzidů. Vzorek na bázi oleylu vychází nejlépe, ať už se jedná o draselnou  $K^+$  a nebo sodnou  $Na^+$  sůl, není zde výrazný vliv.

2) Chelatační tenzidy se chovají spíše jako tenzidy než jako sekvestrační prostředky, protože jejich sekvestrační účinnost je poměrně nízká. Navýšení počtu karboxylových skupin  $-COOH$  v tomto případě nemělo výrazný vliv

3) Vývojové vzorky na bázi kyseliny glutamové jsou svojí sekvestrační účinností porovnatelné se vzorky komerčními. Modifikací navýšení počtu karboxylových skupin  $-COOH$  nedošlo k výraznému ovlivnění sekvestrační účinnosti.

4) Velmi kladný přínos má použití sekvestrantu v opakovaném praní. Bez sekvestrantu je dosažen výrazně horší efekt. Zajímavé výsledky byly dosaženy s použitými kombinacemi na bázi kyseliny glutamové a asparagové.

5) Pořízené snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu nám doplňují představu o tvorbě úsad na praném materiálu při opakovaném praní. S použitím sekvestrantů je vidět, že je vlákno viditelně čistší a hladší.

6) Ve výzkumu vývoje hodnocení základních vlastností nových typů chelatačních prostředků a jejich účinnosti při modelovém praní se bude nadále pokračovat.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] MACHAŇOVÁ, D., PRÁŠIL, M.: *Ekologické aspekty textilních procesů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, s. 54-55, s. 80-21. ISBN 80-7083-940-6.

[2] Chemie a Technologie vody: *Voda v průmyslu, zemědělství a energetice* [online]. Brno, 2012, s. 6. Vysoké učení technické v Brně- Fakulta stavební. [cit. 2017-05-10].  
Dostupné z:

<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BC03-Chemie%20a%20technologie%20vody/chemie%20a%20technologie%20vody%20-%20Voda%20v%20prumyslu%20C%20zemedelstvi%20a%20energetice.pdf>

[3] ČERMÁK, J.: *Voda a průmysl*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014, s.19. ISBN 978-80-7414-879-8.

[4] Zušlechtování textilií: *Úvod do problematiky zušlechtování textilií*. In: E-LTex - Škola textilu [online]. Brno: Textilní zkušební ústav, 2017 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

<http://www.skolertextilu.cz/clanky/23/zaklady-textilnich-technologii/zuslechtovani-textilili>

[5] CHOUDHURY, A. K. ROY.: *Textile preparation and dyeing*. Enfield NH, USA: Science Publishers, 2006, s. 40–54, s. 53-54. ISBN 1-57808-402-4.

[6] MENEZES, E., CHOUDHARI M.: Pre-treatment of textiles prior to dyeing. In: HAUSER, P.: *Textile Dyeing* [online]. InTech, December 2011, s. 222–223, ISBN 978-953-307-565-5. [cit. 2017-5-10].

[7] Vliv spotřeby a výroby na životní prostředí: Textilní průmysl. In: Multimediální ročenka životního prostředí: *Vítejte na Zemi*. [online]. CENIA, česká informační agentura životního prostředí. Praha: Environmentální výchova – Multimediální ročenka životního prostředí, 2017 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

[http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=textilni\\_prumysl\\_env&site=spotreba](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=textilni_prumysl_env&site=spotreba)

[8] KEPÁK, F.: *Průmyslové odpady*. Vyd. 2. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010, s. 159. ISBN 978-80-7414-228-4.

Dostupné z:

[http://fzp.ujep.cz/ktv/uc\\_texty/1ODP1/Prumyslove\\_odpady\\_1-cast.pdf](http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/1ODP1/Prumyslove_odpady_1-cast.pdf)

[9] Změkčení vody - články: Co je tvrdá voda a jak ji odstranit. In: *Změkčení vody* [online]. Roztoky: EuroClean, 2017 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

<http://www.zmekceni-vody.cz/cms/11-co-je-tvrda-voda>

[10] SZÚ, KOŽÍŠEK, F.: *ZDRAVOTNÍ VÝZNAM „ TVRDOSTI“ PITNÉ VODY* [online]. Praha: SZÚ – CHŽP, Národní referenční centrum pro pitnou vodu. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV. 2000, 3. aktualizovaná verze, únor 2003 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

<http://www.vak.cz/soubory/tvrdost.pdf>

[11] Chelatometrické stanovení  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  ve směsi: *Příručka pro začínající vyučující předmětu Cvičení z analytické chemie* [online]. Olomouc: Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, 2011 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

[http://ach.upol.cz/ACC\\_prirucka/2-6.html](http://ach.upol.cz/ACC_prirucka/2-6.html)

[12] Technologické postupy v prádelnictví: Blaha 2014.

<http://slideplayer.cz/> [online]. Brno: Garance Brno, spol, 2014 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

<http://slideplayer.cz/slide/3110492/>

[13] RYBICKY.NET: *Teplota, tvrdost a úprava vody* [online]. 2006 [cit. 2017-05-10].

Dostupné z:

<https://rybicky.net/clanky/486-teplota-tvrdost-a-uprava-vody>

[14] ŠMIDRKAL, J., SVOBODOVÁ, J.: *Prací účinnost: .XLVIII. Seminář o tenzidech a detergentech: sborník příspěvků*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. s. 39-42. ISBN 978-80-7395-942-5.

[15] BURGERT, L.: *Tenzidy - prezentace*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016.

[16] CHIU-CHUN, L., KENG-MING CH.: *Preparation and properties of novel water-soluble surfactants*, Journal of Applied Polymer Science 2006, 102, s. 3559-3564.

[17] AZAB M. M., BADER. S. K., SHAABAN, A. F.: *Synthesis and surface activity of self-sequestering surfactants*, Pigment and Resin Technology 2002, 31, (3), s.138-147.

[18] CHEN K. M., WANG, H. R.: *Synthesis and surface activity of self-sequestering surfactants*, JAOCS 1992, 69, (1), s.60-63.

[19] MAJER, J., NOVAK, J., PROCHAZKA, K., KROB, V., HEDRLIN, I., PETERKA, V., SIMUNEK, J., KRAPF, M.: *Detergents from polyaminopolycarboxylic amides and their salts*, Int.CI. C 07 C 102/04. CS 214910. 1984-10-30.

[20] FERLIN, N., GRASSI D., OJEDA C., CASTRO, M. J. L., GRAND, E., FERNÁNDEZ CIRELLI, A., KOVENSKY, J.: *Synthesis of sugar-based chelating surfactants for metal removal from wastewater*, Carbohydrate Research 2008, 343, s. 839-847

- [21] FERLIN, N., GRASSI D., OJEDA C., CASTRO, M. J. L., GRAND, E., FERNÁNDEZ CIRELLI, A., KOVENSKY, J.: *Calcium chelating sugar-based surfactants for hard-water detergency*, Journal of Surfactants and Detergents 2011, 15, s. 259-264
- [22] MONTEDISON S.p.A., Italy: *Detergent compositions containing self-sequestering surfactants*. Inventors: Gafa, Salvatore; Burzio, Fulvio. Int.Cl. C 11D1/04. US 4 174 306. 1979 – 11 – 13.
- [23] MACHAŇOVÁ, D.: *Předúprava textilií I*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, s. 21-22, 35-63. ISBN 80-7083-971-6.
- [24] LANGE, R. K.: *Detergents and cleaners*. München: Hanser, 1994, s. 56-58, 133-139. ISBN 1-56990-167-8.
- [25] SAYED, U., BANERJEE, S., MAJUMDER, S.: *Metal ions and their associated problems in the textile processing*. Colourage. November 2002, 49 (11), s. 43-46
- [26] POLÁKOVÁ, L., SVOBODOVÁ, J. ŠMIDRKAL, J. FILIP, V.: *Vplyv typu buildrového systému na účinnosť prania XXXIX. Seminár o tenzidech a detergentech*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006, s. 13-20. ISBN 80-7194-907-8.
- [27] GUPTA, S., NANDA, B.: *Sequestering agents in textile chemical processing*, Colourage. November 1994, 41 (11), s. 21-25
- [28] ENGBERS, B., J. J., DIERKES, G.: *Sequestriermittel und Ionenaustauscher für die Textilveredlung*. Textil Praxis International. April 1992, 47 (4), s. 365-368
- [29] DE, A. K.: *A Textbook of Inorganic Chemistry* [online]. New Delhi: New Age International, 2003, s. 454, ISBN: 978-81-224-1384-7. [cit. 2017-05-10]

Dostupné z:

[http://books.google.cz/books?id=PpTi\\_JAx7PgC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cz/books?id=PpTi_JAx7PgC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false)

[30] SEETZ, J., STAFFORD, G. P.: *Bound by biodegradability* [online]. Soap, Perfumery & Cosmetics. April 2007, s. 75-76. [cit. 2017-05-10]

Dostupné z:

[http://www.akzonobel.com/dissolvinegl/system/images/AkzoNobel\\_SPC\\_Article\\_tcm80-18047.pdf](http://www.akzonobel.com/dissolvinegl/system/images/AkzoNobel_SPC_Article_tcm80-18047.pdf)

[31] ENGBERS, B., J. J., DIERKES, G.: *Sequestriermittel und Ionenaustauscher für die Textilveredlung*. Textil Praxis International. Mai 1992, 47 (5), s. 462-466

[32] BASF [online]. *Trilon M types*. May 2007.s 1-14 [cit. 2017-5.10]

Dostupné z:

[http://site.saveoncitric.com/trilon\\_m\\_info.pdf](http://site.saveoncitric.com/trilon_m_info.pdf)

[33] KLODYŃSKA, D.: Chelating agents of a new generation as an alternative to conventional chelators for heavy metal ions removal from different waste waters. In: NING, R. Y.: *Expanding Issues in Desalination* [online]. InTech, September 2011, s. 339-370. ISBN 978-953-307-624-9. [cit. 2017-5-10]

Dostupné z:

<http://www.intechopen.com/books/expanding-issues-in-desalination/chelating-agents-of-a-new-generation-as-an-alternative-to-conventional-chelators-for-heavy-metal-ion>

[34] LANXESS [online]. *Baypure*. October 2005. s. 23-30 [cit. 2017-5-10]

Dostupné z:

[http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/BAYPURE%20DS%2010040%20\(HT\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/BAYPURE%20DS%2010040%20(HT).pdf)

[35] PTÁKOVÁ, H., SÝKORA, V., ARCHER J.: Biologická rozložitelnost EDDS a EDDA. XXXV. *Seminář o tenzidech a detergentech*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001, s. 77-88. ISBN 80-7194-382-7. [cit. 2017-5-10]

[36] AkzoNobel [online]. *The greener chelate*. [cit. 2017-5-10]

Dostupné z:

[https://www.akzonobel.com/dissolvinegl/about\\_dissolvine\\_gl/](https://www.akzonobel.com/dissolvinegl/about_dissolvine_gl/)

[37] ROWETON, S., HUANG, S. J., SWITH, G.: *Poly(aspartic acid): synthesis biodegradation, and current applications*. Journal of environmental polymer degradation. July 1997, 5 (3), s. 175-181.

[38] XU, Y., WANG, L., ZHAO, L., CUI, Y.: *Synthesis of polyaspartic acid-aminobenzenesulfonic acid grafted copolymer and its scale inhibition performance and dispersion capacity*. Water Science & Technology. 2011, 64 (2), s. 423-430.

[39] CHIELLINI, E., CORTI, A., DEL SARTO, G., D'ANTONE, S.: *Oxo-biodegradable polymers- effect of hydrolysis degree on biodegradation behavior of poly (vinyl alcohol)*. Polymer Degradation and Stability. December 2006, 91 (12), s. 3397-3406.

[40] CHIELLINI, E., CORTI, A., DEL SARTO, G., D'ANTONE, S.: *Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials*. Progress in Polymer Science. June 2003, 28 (6), s. 963-1014.

[41] OKADA Y., BANNO T., TOSHIMA, K., MATSUMURA, S.: *Synthesys and Properties of Polycarboxylate- type Green Sufractants with S- or N- Linkages*. Journal of Oleo Science ISSN 1345-8957 print / ISSN 134-3352 online. [cit. 2017-5-10]

[42] MATSUMURA, S., NISHIOKA, M., YOSHIKUWA, S.: *Enzymatically degradable poly(carboxylic acid) derived from polysaccharide*. Makromol.Chem., Rapid Commun. 1991, 12 (2), s. 89-94.

[43] BASF AKTIENGESELLSCHAFT.: *Pfropfcopolymerisate von monosacchariden, oligosacchariden, polysacchariden und modifizierten polysacchariden, verfahren zu ihrer herstellung und ihre verwendung*. Inventors: Dezingen W., Hartmann H., Kud A., Baur R., Feldmann J., Raubenheimer H. J. Int.Cl.: C 08 F 251/00. Ger. Offen. DE 4 003 172 A1. 1991- 08 -08.

[44] BAYEROVA, P., BURGERT, L.: *The evaluation of the sequestration capacity of agents based on copolymers of acrylic acid with mono- to oligosaccharides in washing process*. Vlákna a textil. 2011, 18, (2), s. 10-17, ISSN 1335-0617



## 8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

°C	.....	jednotka teploty, Celsiův stupeň
°dH	.....	německý stupeň tvrdosti vody
a	.....	množství vápníku v mg [viz. kapitola 4.6.4.]
a	.....	množství sekvestrovaného iontu- $\text{Ca}^{2+}$ [viz. kapitola 4.6.2.]
AE	.....	alkoholetoxylát
AS	.....	alkylsulfonát sodný
ATMP	.....	amino-tris (methylenfosfonová kyselina)
b	.....	sušina vzorku
$c_{\text{ChII}}$	.....	molární koncentrace odměrného roztoku Chelatonu III
$c_{\text{L}}$	.....	koncentrace vápníku v roztoku $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
CMC	.....	karboxymethylcelulosa
ČOV	.....	čistička odpadních vod
DTPA	.....	diethylentriaminpentaoctová kyselina
EDTA	.....	ethylendiamintetraoctová kyselina
EDTMP	.....	ethylendiamio-tetrakis (methylenfosfonová kyselina)
f	.....	přepočítávací faktor CaO na vápník
GLDA- $\text{Na}_4$	.....	N,N-bis(karboxymethyl)-L-glutamát tetra sodný
H3MGDA	.....	kyselina methylglycindioctové
HEDP	.....	1- hydroxy -1,1- ethandifosfonová kyselina
HEDTA	.....	hydroxyethylendiamintetraoctová kyselina

K	.....	konstanta stability
m	.....	navážka vzorku
mCa <sup>2+</sup>	.....	množství vápníku
mCaO	.....	množství oxidu vápenatého
M <sub>Ca</sub>	.....	molekulová hmotnost vápníku
m <sub>n</sub>	.....	hmotnost váženky se vzorkem před sušením
m <sub>s</sub>	.....	hmotnost váženky se vzorkem po sušení
m <sub>v</sub>	.....	hmotnost čisté váženky
n	.....	2 mg CaO, které odpovídají 1 ml Chelatonu III
n <sub>l</sub>	.....	počet kapek destilované vody
n <sub>x</sub>	.....	počet kapek destilované měřené kapaliny
NTA	.....	nitrilotrioctová kyselina
Na <sub>3</sub> MGDA	.....	trisodná sůl kyseliny methylglycidioctové
LAS	.....	alkoholetoxylát
P	.....	sušina
PAA	.....	polyasparagová kyselina
PAL	.....	povrchově aktivní látky
REM	.....	rastrovací elektronový mikroskop
Syntron A	.....	trisodná sůl nitrilotrioctové kyseliny
Syntron B	.....	tetrasodná sůl ethylendiamintetraoctové kyseliny
Syntron C	.....	pentasodná sůl diethylentriaminpentaoctové kyseliny
Syntron D	.....	sodná sůl dihydroxydiethylenaminoctové kyseliny

S .....	sekvestrační kapacita
SDP .....	difosforečnan tetrasodný
SDS .....	dodecylsulfát sodný
STP .....	trifosforečnan pentasodný
TPP .....	textilní pomocné prostředky
V .....	objem, spotřeba
V <sub>sp</sub> .....	spotřeba odměrného roztoku Chelatonu III
$\gamma^l$ .....	povrchové napětí destilované vody
$\gamma^x$ .....	povrchové napětí měřené kapaliny
Z .....	zřed'ovací faktor roztoku

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

### Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Rozdělení molekuly tenzidu (PAL) [15] .....	26
Obrázek č. 2: Chování tenzidů ve vodných roztocích [15].....	26
Obrázek č. 3: Výsledný produkt Reakce z itakonové kyseliny, ftalanhydridu, kyseliny citronové a oxypropylenovaných diolů [17] .....	30
Obrázek č. 4: Výsledný produkt reakce z ftalanhydridu, citronové kyseliny a polyethylenglykolu [18].....	30
Obrázek č. 6: Aparát Ahiba Nuance Top Speed II B.....	47
Obrázek č. 7: Stalagmometr-pro stanovení povrchového napětí .....	52
Obrázek č. 8: Příklad titrační křivky při spektrofotometrické titraci.....	54
Obrázek č. 9: Příklad první derivace titrační křivky .....	55
Obrázek č. 10: Časově-teplotní režim praní .....	59
Obrázek č. 11: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 1) .....	74
Obrázek č. 12: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 2) .....	74
Obrázek č. 13: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 3) .....	75
Obrázek č. 14: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 4) .....	75
Obrázek č. 15: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 5) .....	76
Obrázek č. 16: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 6) .....	76
Obrázek č. 17: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 7) .....	77

Obrázek č. 18: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 8) .....	77
Obrázek č. 19: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 9) .....	78
Obrázek č. 20: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 10) .....	78
Obrázek č. 21: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 11) .....	79
Obrázek č. 22: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 12) .....	79
Obrázek č. 23: Snímek z REM povrchu bavlněné tkaniny prané v tvrdé vodě o 22 °dH s modelovým detergentem (patrona 13) .....	80

## **Seznam grafů**

Graf č. 1: Závislost povrchového napětí na koncentraci.....	62
---	----

## 10. SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Celková spotřeba vody v textilním závodě <sup>5</sup> .....	14
Tabulka č. 2: Spotřeba vody v mokřých procesech pro bavlněné textilie <sup>6</sup> .....	14
Tabulka č. 3: Složení odpadních vod ze zpracování bavlny <sup>8</sup> .....	15
Tabulka č. 4: Rozdělení vody podle tvrdosti, jakosti a původu <sup>13</sup> .....	18
Tabulka č. 5: Seznam použitých chemikálií .....	46
Tabulka č. 6: Seznam vývojových vzorků.....	48
Tabulka č. 7: Seznam použitých komerčních vzorků .....	50
Tabulka č. 8: Tetrasodná sůl N-dodecyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2) .	63
Tabulka č. 9: Tetrasodná sůl N-oleyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2).....	64
Tabulka č. 10: Tetradraselná sůl N-dodecyl-N-(1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2).....	64
Tabulka č. 11: Tetradraselná sůl N-oleyl-N- (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny .....	65
Tabulka č. 12: Disodná sůl N-oleyl asparagové kyseliny (1:1) .....	65
Tabulka č. 13: Tetrasodná sůl N-(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny .....	67
Tabulka č. 14: Hexasodná sůl N,N-bis(1,2- dikarboxyethyl)glutamové kyseliny.....	67
Tabulka č. 15: Baypure-iminodisukcinát tetrasodný .....	67
Tabulka č. 16: Dissolvine GL 47 S .....	68
Tabulka č. 17: Enviomet .....	68
Tabulka č. 18: Složení lázně patron pro modelové praní .....	69
Tabulka č. 19: Vypočtené hodnoty pro opakované modelové praní .....	72
Tabulka č. 20: Hodnoty povrchového napětí u jednotlivých vzorků.....	95
Tabulka č. 21: Tetrasodná sůl N- (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:1) .....	95
Tabulka č. 22: Hexasodná sůl N, N-di (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2) .....	96

## 11. PŘÍLOHY

### Příloha č. 11. 1.:

Tabulka č. 20: Hodnoty povrchového napětí u jednotlivých vzorků

koncentrace g/l	povrchové napětí mN/m	mN/m	mN/m	mN/m	mN/m	mN/m
	dodecyl sulfát sodný	4Na+ dodecyl-dikarboxyethyl asparagové kyseliny	4Na+ oleyl-dikarboxyethyl asparagové kyseliny	4K+ dodecyl-dikarboxyethyl asparagové kyseliny	4K+ oleyl-dikarboxyethyl asparagové kyseliny	Disodná sůl N-oleyl asparagové kyseliny (1:1)
0	72,75	72,75	72,75	72,75	72,75	72,75
0,1	71,31	69,84	65,08	71,76	59,53	60,94
0,25	62,11	68,93	57,25	65,89	52,12	49,32
0,5	56,36	66,73	49,89	68,03	47,84	46,68
0,75	51,39	65,08	47,84	63,49	45,55	44,77
1	47,22	65,08	44,77	61,63	43,84	44,10
1,5	40,40	60,91	42,76	59,19	39,68	41,87
2	36,21	58,53	42,59	54,01	37,55	41,57
X	Y	y	Y	y	y	Y

### Příloha č. 11. 2.:

Tabulka č. 21: Tetrasodná sůl N- (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:1)

Hodnota pH	Sekvestrační kapacita S (mg Ca <sup>2+</sup> /1g)	
	20°C	90°C
11	194,4	169,3
12	142,1	113,4

**Příloha č. 11. 3.:**

**Tabulka č. 22: Hexasodná sůl N, N-di (1,2- dikarboxyethyl) asparagové kyseliny (1:2)**

<b>Hodnota pH</b>	<b>Sekvestrační kapacita S (mg Ca<sup>2+</sup>/1g)</b>	
	<b>20°C</b>	<b>90°C</b>
<b>9</b>	8,7	-
<b>10</b>	42,9	-
<b>11</b>	139,2	88,4
<b>12</b>	127,4	80,1