



# Oxidační poškození bavlny

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B3107 – Textil

*Studijní obor:* 3107R007 – Textilní marketing

*Autor práce:* **Martina Brelková**

*Vedoucí práce:* Ing. Mária Průšová



# Oxidative damage to cotton

## Bachelor thesis

*Study programme:* B3107 – Textil  
*Study branch:* 3107R007 – Textile marketing - textile marketing  
*Author:* **Martina Brelková**  
*Supervisor:* Ing. Mária Průšová



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina Brelková**  
Osobní číslo: **T15000304**  
Studijní program: **B3107 Textil**  
Studijní obor: **Textilní marketing**  
Název tématu: **Oxidační poškození bavlny**  
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

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

1. Proveďte rešerši na téma chemického poškození bavlny a to zejména poškození oxidačními činidly
2. Připravte vzorky bavlněné textilie s různým stupněm oxidačního poškození, zaměřte se na vysokou rovnoměrnost a reprodukovatelnost poškození
3. Na připravené sadě vzorků stanovte stupeň poškození pomocí dostupných chemických metod, jako je například sorpce methylenové modře a mědné číslo
4. Ověřte reprodukovatelnost metod detekujících oxidační poškození bavlny
5. Diskutujte naměřené výsledky

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**FELIX, Václav. Chemická technologie textilní. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1956. Řada textilní a oděvní literatury.**

**GRALIŇSKI, Mirosaw. Chemicko-technické textilní rozbory. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1967.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Mária Průšová**

Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **29. září 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. května 2018**



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. prosince 2017

## Žádost o změnu termínu odevzdání závěrečné práce

Jméno a příjmení: Martina Brelková  
Osobní číslo: T15000304  
Studijní program: TEXTIL (B3107)  
Studijní obor: Textilní marketing (TM)  
Zadávací katedra: Katedra hodnocení jakosti

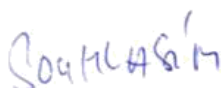
Žádám o změnu termínu odevzdání závěrečné práce ze 4. 5. 2018 na 7. 12. 2018.

Odůvodnění žádosti: Nedostatek času ke zpracování práce.

V Liberci dne 2. 5. 2018

Podpis: 

Vyjádření vedoucího práce:





Vyjádření vedoucího katedry:

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala paní Ing. Márie Průšové za vedení mé bakalářské práce, její ochotu, vstřícnost, podporu a cenné rady.

Dále bych chtěla poděkovat panu prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. a paní Ing. Janě Müllerové, Ph.D. za jejich pomoc a ochotu.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za jejich podporu po celou dobu studia.

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá chemickým poškozením bavlny, a to zejména oxidačními činidly. Seznamuje čtenáře se základními informacemi o celulóze, bavlně, s různými typy poškození celulózy a způsoby, jak takových poškození docílit. Obsahem druhé části práce je příprava vzorků bavlněných textilií s různým stupněm oxidačního poškození a zaměření se na vysokou rovnoměrnost a reprodukovatelnost poškození. Dále je u bavlněných textilií stanoven stupeň oxidačního poškození pomocí dostupných chemických metod, jako je sorpce methylenové modři a měďné číslo.

**Klíčová slova:** oxidační poškození, celulóza, bavlna, methylenová modř, měďné číslo, chlornan sodný, spektrofotometrie

## **Annotation**

The bachelor thesis deals with chemical damage to cotton, especially with oxidation agents. It introduces the basic information about cellulose, cotton, various types of cellulose damage and methods how to achieve the damage. The second part of the thesis contains the preparation of cotton fabrics with different levels of oxidative damage and the focus of high uniformity and reproducibility of damage. A level of oxidative damage is determined by cotton fabrics using available chemical methods like methylene blue sorption and the copper number.

**Keywords:** oxidative damage, cellulose, cotton, methylene blue, copper number, sodium hypochlorite, spectrophotometry



## Obsah

Seznam symbolů a zkratk .....	11
Úvod .....	12
TEORETICKÁ ČÁST .....	13
1 Celulóza .....	13
1.1 Struktura celulózy .....	13
1.1.1 Struktura celulóзовých vláken .....	15
1.2 Metody určování celulózy .....	16
1.3 Chemické reakce celulózy .....	17
1.4 Význam a využití celulózy .....	17
2 Bavlina .....	19
2.1 Pěstování bavlny .....	20
2.2 Vláknو bavlny .....	21
2.2.1 Geometrické a mechanické vlastnosti vlákna bavlny .....	23
3 Poškození bavlny .....	25
3.1 Hydrocelulóza .....	26
3.1.1 Důkazy hydrocelulózy .....	26
3.2 Oxycelulóza .....	27
3.2.1 Důkazy oxycelulózy .....	28
4 Spektrofotometrie .....	30
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	32
5 Poškození vzorků .....	32
5.1 Bavlněné vzorky .....	32
5.2 Chlornan sodný .....	33
5.2.1 Stanovení aktivního chloru .....	33
5.3 Poškozování vzorků .....	35
6 Zkouška methylenovou modří .....	39
6.1 Spektrofotometrie vzorků .....	41
6.2 Infračervená spektroskopie .....	42

7	Zkouška pomocí měďného čísla .....	43
8	Výsledky .....	45
	Závěr .....	49
	Seznam citací .....	50
	Seznam obrázků .....	52
	Seznam tabulek .....	53

## Seznam symbolů a zkratk

%	procento
°C	stupeň Celsia
$\pi$	Ludolfovo číslo
$\mu\text{m}$	mikrometr
A	plocha sekundární stěny vlákna, absorbance
c	hmotnost suchého vzorku
cm	centimetr
$\check{C}_{\text{Cu}}$	číslo mědi
dtex	decitex
g	gram
g/mol	jednotka molární hmotnosti
g/l	jednotka koncentrace chlornanu sodného
g/tex	jednotka pevnosti vlákna
I	intenzita světla
km	kilometr
m	metr
mm	milimetr
nm	nanometr
p	obvod příčného řezu vlákna
pH	vodíkový exponent - míra kyselosti vodného roztoku
S	plocha
tex	jednotka jemnosti vlákna
V	objem

## Úvod

O celulóze se mluví jako o nejrozšířenějším polymeru na Zemi, který se vyskytuje téměř v každém žijícím organismu. Bakalářská práce se zabývá o jejím oxidačním poškození, se kterým se člověk potká např. v medicíně, u bělení, beta a gama záření, či při běžném potřísnění oblečení oxidačními činidly. Hlavní složkou bavlny je právě celulóza, která po působení oxidačními činidly mění svůj řetězec, ve kterém vzniknou karboxylové skupiny. Tím se bavlna nenávratně poškodí, její výsledný produkt se nazývá oxycelulóza. Práce zmiňuje také poškození bavlny kyselinou, díky které v celulózovém řetězci vzniknou aldehydicke skupiny. Výsledný produkt se dále nazývá hydrocelulóza.

Účelem bakalářské práce je ověřit reprodukovatelnost metod detekujících oxidační poškození bavlny pomocí různých chemických způsobů. Zabývá se přípravou vzorků s různým stupněm poškození, který se zaměřuje na vysokou rovnoměrnost a reprodukovatelnost poškození, popřípadě vylepšení těchto způsobů.

Teoretická část se v první kapitole zaměřuje na detailnější popis celulózy a její složení. Zabývá se její chemickou podstatou, strukturou a přípravou čisté celulózy. Zmiňuje také její funkci v buněčné stěně rostlin a chemické reakce celulózy. Jako poslední vysvětluje význam a využití celulózy v přírodě. Druhá kapitola se zaměřuje na bavlnu, její základní informace, pěstování, zpracování a strukturu vlákna. Třetí kapitola se zabývá celulózou a jejími typy poškození. Zmiňuje samotnou oxycelulózu, hydrocelulózu a způsoby jejich dokazování.

Experimentální část práce se zaměřuje na samotné poškození vzorků, jejich vysokou reprodukovatelnost, rovnoměrnost a na výběr nejlepší metody poškození. Zabývá se také chlornanem sodným, který je v práci hlavním oxidačním činidlem používaným k oxidačnímu poškození celulózových vláken. Ke chlornanu se pojí stanovení jodometrickou titrací, která vede ke zjištění aktivního chloru v chlornanu, který je důležitý při každém dalším měření. Další kapitola se zaměřuje na dokazování poškození pomocí methylenové modři, její nejspolehlivější způsob provedení a na samotné výsledky. Poslední kapitola se zabývá dokazováním oxidačního poškození pomocí metody měďného čísla. Tato metoda se používá spíše pro důkaz hydrolytického poškození celulózy, avšak díky laboratorním pracím bylo dokázáno, že se tato metoda osvědčuje také u poškození oxidačního. Výsledky jsou diskutovány a zřehledněny v závěru práce.

# TEORETICKÁ ČÁST

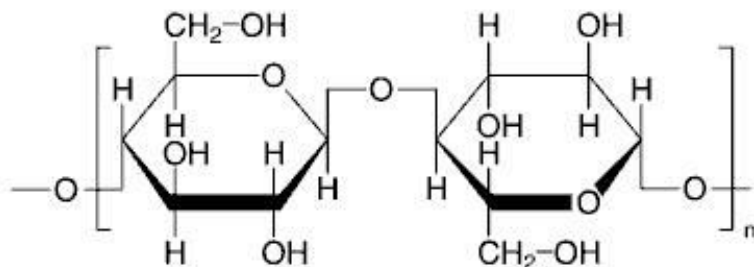
## 1 Celulóza

Celulózou se nazývá polysacharid obsažený v rostlinných buňkách, skládající se z  $\beta$ -D-glukózy. Celulóza je hlavní stavební jednotkou rostlinných buněčných stěn. Podílí se na stavbě sekundárních buněčných stěn společně s ligninem a hemicelulózami. Ročně vzniká až  $1,5 \times 10^9$  tun celulózy na zemském povrchu, a proto se z ní stává nejrozšířenější biopolymer Země. Její výskyt se zaznamenal i u živočichů, konkrétně u mořských strunatců, zvaných pláštěnců.

Celulóza tvoří až 50 % hmoty všech dřevin a je hlavní složkou rostlinných buněk. Jedná se o nejrozšířenější organickou látku v živé přírodě. Největším obsahem celulózy disponuje bavlna, konkrétně její semenné dlouhé chlupy obsahují až 95 % celulózy. Dřevo, kůra či kořeny obsahují až 50 % celulózy. Naproti tomu nejmenší poměr celulózy mají listy s 10 až 20 %. [1]

### 1.1 Struktura celulózy

Celulóza je bez chuti, bez zápachu a je hydrofobní. Skládá se z dlouhých nerozvětvených řetězců, které nejsou rozpustné ve vodě. Obsahuje glukózové jednotky spojeny glykosidovou vazbou  $\beta$ -1,4. Skládá se z nejméně 6 atomů uhlíku, 5 atomů kyslíku a vždy obsahuje dvakrát tolik vodíku než kyslíku. Sumárním vzorcem pro celulózu je  $[C_6H_{10}O_5]_n$  a molární hmotnost celulózy se pohybuje v rozmezí od 300 000 až po 500 000 g/mol. Díky polymerům celulózy vznikají v buněčných stěnách rostlin mikrofibrily. Jedná se o pevná vlákna, která disponují vysokou pevností v tahu, spojována v molekuly vodíkovými můstky. Uspořádání mikrofibril ovlivňuje růst rostliny. Jejich rovnoběžné uložení způsobuje její kolmý růst. [2]

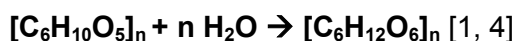


Obrázek 1 Strukturní vzorec celulózy [3]

Celulóza je sloučenina vytvořená ze zbytků D-glukózy, přičemž každá obsahuje 3 hydroxylové skupiny. Čím je čistší, tím obsahuje méně aldehydických skupin. Rovněž je nerozpustná v alkoholu, etheru, chloroformu či v jiných organických rozpouštědlech. Rozpouští se ve Schweitzerově činidle, horkém rodanidu vápenatém, v chloridu zinečnatém nebo v roztocích jiných solí.

V přírodě se celulóza vyskytuje vždy s doprovodnými látkami. První z těchto látek se nazývá pektocelulóza, která se nachází v bavlně a ve lnu. Pektocelulóza je doprovázená pektiny. Druhou látkou je lignocelulóza doprovázená ligninem, obsažena nejčastěji v ramii. Třetí látka, která se nachází v korku, se nazývá ketocelulóza. Tato látka je doprovázená vosky a tuky. Makromolekula celulózy se považuje za tuhý útvar a její polysacharidový řetězec je rigidní. Důkazem rigidity řetězce je teplota skelného přechodu celulózy 220°C, která přesahuje teplotu termického rozkladu celulózy.

Základem celulózy je disacharid celobióza, který se skládá stejně jako celulóza z  $\beta$ -D-glukózy, a je společně 1-4 vazbou spojený s  $\alpha$ -D-glukózou. Další látkou, která obsahuje  $\beta$ -D-glukózu, je maltóza neboli sladový cukr. Vzniká hydrolýzou škrobu a pomocí jejího štěpení s enzymem maltózou dále vznikají dvě molekuly glukózy. Maltóza se skládá z  $\alpha$ -D-glukózy, na kterou je napojena  $\beta$ -D-glukóza spojením 1-4 vazbou. Pomocí hydrolýzy celulózy se získává glukóza. Chemicky se jedná o polyalkaloid s jednou primární a dvěma sekundárními (-OH) skupinami. Chemická reakce hydrolýzy se dá zapsat jako:



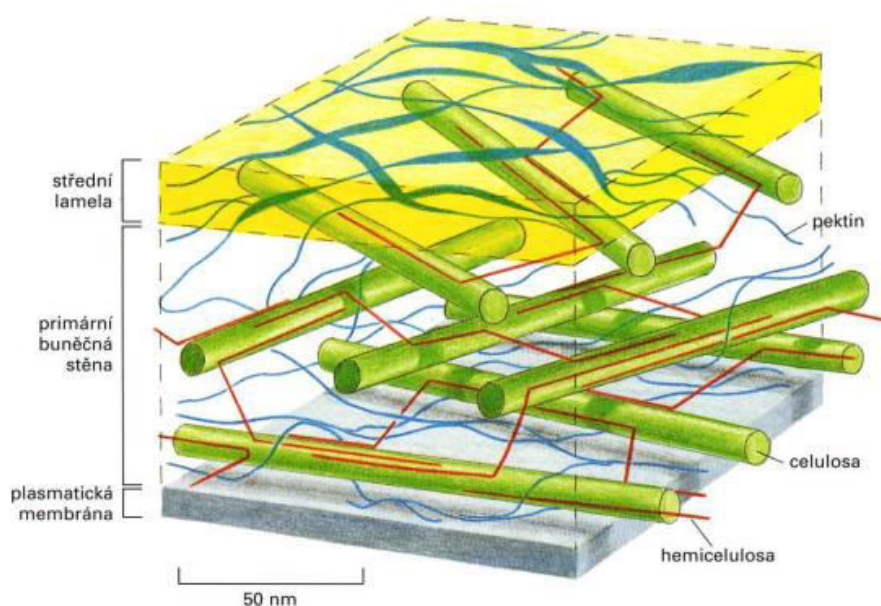
Celulóza není jedinou složkou buněčných stěn rostlin. Mimo celulózu obsahují také xyloglukany, pektiny a hemicelulózy a lignin. Hemicelulózy se společně se zbytky ligninu využívají k výrobě v papírenském průmyslu. Na rozdíl od celulózy se jedná o polysacharidy s nižší molekulovou hmotností a jinou stavbou řetězce. V řetězci hemicelulóz převládají amorfni části, avšak mohou také tvořit krystality. Hemicelulózy se váží na lignin a společně s celulózou tvoří tmelící vrstvu v buněčných stěnách rostlin. Jejich výtazek se může dostat pomocí zředěných hydroxidů a jejich hydrolýza se provádí naopak zředěnými kyselinami za tepla. Až 45 % hemicelulóz obsahují listnaté stromy. Naproti tomu u měkkého dřeva jehličnatých stromů se nejvíce vyskytuje hemicelulóza zvaná manan, kterou stromy obsahují pouhých 25 %. Dalším druhem hemicelulózy je galaktan, který obsahuje galaktózu, obsaženou v semenech rostlin či ve slámě. Hemicelulóza obsahující xylózu se nazývá xylan, a je součástí rostlinných vláken, dřevin a slámy. Polymerační stupeň hemicelulóz je značně nižší než polymerační stupeň celulózy.

Druhou nejrozšířenější látkou na Zemi je po celulóze lignin. Jedná se o vysokomolekulární amorfni látku, která je kovalentně vázána na polysacharidy. Společně s celulózou a hemicelulózami se vyskytuje v buněčných stěnách rostlin. Jejimi funkcemi je dřevnatění a hydrofobní zabezpečení rostliny. Dodává dřevu pevnost v tahu, spojuje mezibuněčná vlákna a zpevňuje celulózové molekuly. Lignin se vyznačuje svou termoplasticitou a absorpcí světla. [6]

### 1.1.1 Struktura celulózových vláken

Celulóza je hlavní složkou všech buněčných stěn rostlinných organismů. Tvoří jejich pevnou kostru a dodává jim mechanickou pevnost. Velikost buněk závisí na druhu rostliny, mohou být dlouhé od 0,01-1 cm, avšak u některých rostlin jako ramie, len či konopí mohou dosahovat délky až 25 cm. Buňky se rozdělují do třech skupin – mechanické prvky, cévy a parenchymatické buňky, ve kterých je uložen škrob a tuky.

Buněčná stěna rostlin se skládá ze tří vrstev. První z nich je primární vrstva, která pomocí mezibuněčné hmoty tvoří střední lamelu (buněčnou stěnu mezi dvěma rozdělenými buňkami). Složení primární vrstvy není zcela prozkoumané, předpokládá se však, že střední lamela obsahuje celulózu, lignin a pektiny. Sekundární vrstva zaujímá v buněčné stěně největší podíl. Obsahuje 50 % celulózy, 30 % ligninu a 20 % hemicelulóz. Zejména v této vrstvě nejvíce zhrubne buněčná stěna. Naproti tomu terciární vrstva, která je nejvnitřnější vrstvou stěny, většinou nezdřevnatí. Vrstva je velmi tenká a ostře ohraničená od vrstvy sekundární. Stejně jako předchozí vrstvy obsahuje celulózu a hemicelulózy, avšak téměř neobsahuje lignin. [1]



Obrázek 2 Buněčná stěna rostlin [7]

## 1.2 Metody určování celulózy

Celulózu lze určit dvěma způsoby – kvalitativně a kvantitativně. Kvalitativní metoda se nevyužívá zdaleka tolik jako metoda kvantitativní, využívají ho spíše botanici při rozboru buněčných stěn. Při určování celulózy kvalitativně využívají chemici metody zbarvení. Jedním ze způsobů, jak určit celulózu, je pomocí činidla chlór-zinek-jód, který ji obarví na fialovo. Další způsob využívá zbarvení na modro pomocí roztoku jódu v kyselině sírové. Tyto metody nejsou v chemii moc přesvědčivé, jelikož přesné výsledky se dostaví pouze tehdy, kdy je celulóza čistá. S velkým množstvím příměsí vzniká zbarvení s různými odstíny. Bavlna a len se sice zbarví do fialové barvy, avšak juta se zbarví do hnědožluté, novozélandský len do žlutozelené a ramie do matně fialové. Tento způsob tedy není z hlediska chemie směrodatný, proto se více využívá metoda kvantitativní. [1]

Spolehlivá metoda určování celulózy není doposud objevena. Různé metody přinášejí různé výsledky. U většiny metod se odstraní lignin, hemicelulózy, pektiny a všechny příměsi, samotná celulóza se zváží a porovná se s váhou původní směsi obsahující ostatní látky. Zřídka se používají nepřímé kvantitativní metody. K nim patří metoda určení množství celulózy podle množství glukózy, která vznikne po její hydrolyze.

Nejspolehlivější metoda určení celulózy je metoda chlórová. Vlhký chlór se siřičitanem sodným působí na rostlinnou surovinu. Důsledkem oxidačních procesů se pomocí siřičitanu sodného téměř rozpustí lignin a v celulóze zůstanou pouze polysacharidy. Po opakované chloraci se získá celulóza znečištěná pentózami a jinými polysacharidy. Procento čisté celulózy se zkoumá dodatečnými metodami. Kvůli působení vlhkého chlóru vznikne chlorovodík a proběhne částečná hydrolyza. Důsledkem je celulóza znečištěná hydrocelulózou. Chlór působí také oxidačně, proto celulóza obsahuje určité množství oxycelulózy. Přesto, že se tato metoda považuje za nejpřesnější, neprovádí se v původní formě, ale v podobě různých modifikací např. podle F. P. Komarova, který využívá speciálně upravenou aparaturu, pomocí které se za určitý čas chlórjuje dřevo určitým váhovým a objemovým množstvím chlóru.

Další metoda se nazývá Kürschner-Hofferova metoda, která pracuje s alkoholickým roztokem kyseliny dusičné. Výsledky této metody s využitím jednoduché aparatury jsou rychlé a přesné. Pomocí kyseliny dusičné se nitruje lignin a mění se na nitrolignin, který je rozpustný v alkoholu a nerozpustný ve vodě. Společně s ligninem se rozpouští i velká část hemicelulóz (až 75 %). Díky této metodě se získá téměř čistá celulóza s malým obsahem ligninu a hemicelulóz. Při procesu probíhá částečná hydrolyza celulózy a oxidace, která se projevuje zvýšením měďného čísla. Na rozdíl od chlórové metody, je tato metoda



rychlejší a jednodušší, přesto se nedostaví tak přesné výsledky, jako u předchozích dvou metod. [1]

### 1.3 Chemické reakce celulózy

Díky vysokomolekulární struktuře se u celulózy projevuje několik druhů chemických reakcí. Molekula celulózy se může rozštěpit na více kratších částí, což může nastat různými oxidačními činidly, hydrolytickým štěpením kyselinami, krakováním při vysoké teplotě, působením alkoholických roztoků kyselin, hydrogenací, acetolýzou či účinkem alkálií. Celulóza obsahuje hydroxylové skupiny, které reagují na étery a estery. Při takové reakci zůstane délka řetězce nezměněna, ale mění se pouze fyzikální vlastnosti celulózy (optická aktivita, rozpustnost) a chemický charakter. Samotná látka zůstane nadále vysokomolekulární. Celulóza se chemicky jeví jako heterogenní sloučenina. Různá reakční schopnost celulózy vyplývá z toho, že:

- a) jednotlivé vazby mezi makromolekulami nejsou rovnocenné
- b) jednotlivé vazby v samotné molekule nejsou rovnocenné
- c) jednotlivé makromolekuly nebo její části mají různé reakční schopnosti
- d) hydroxylové skupiny, nacházející se na každém zbytku D-glukózy, mají různé reakční schopnosti [1]

### 1.4 Význam a využití celulózy

Celulóza se v přírodě vyskytuje v neomezeném množství. Jedná se o nejrozšířenější polymer na Zemi, který se získává zejména ze dřevin odstraněním doprovodných látek. Má svůj význam jak v přírodě, tak i v průmyslovém zpracování.

Celulóza je u většiny živočichů nestravitelná, jelikož sami nedisponují enzymy, které by umožnily rozštěpit vazby mezi jednotlivými glukózovými jednotkami. V potravě tudíž tvoří vlákninu, která projde trávicím traktem v neporušeném stavu. Existují však živočichové, kteří dokáží celulózu strávit. Jedním z příkladů jsou zástupci kmene plžů. Dalšími zástupci jsou některé bakterie, které disponují vlastnostmi celulózu štěpit a metabolizovat. Zvláštní skupinou jsou symbiotické bakterie, které jsou parazity u býložravců. V trávicím ústrojí rozštěpí buněčné stěny celulózy, a tím umožní býložravcům co nejvíce využít energii pocházející z rostliny. Nejvíce symbiotických bakterií využívají býložravci rodu přežvýkavců, hmyz (zvláště termiti) a jiné druhy bakterií. [8]

Celulózové vlákno se nejvíce využívá v papírenském a textilním průmyslu. Nejvýznamnější produkcí je výroba papíru. Hlavní složkou jeho výroby je buničina, která se většinou získává ze smrkového dřeva. Vedlejšími produkty výroby papíru jsou

sekundární vlákna, získána ze sběrového papíru, či jiné rostlinné vláknité materiály jako bavlna či konopí. Textilní průmysl využívá celulózu v podobě vláken, která se využívají k výrobě přízí. Přírodní vlákna se dělí na vlákna ze semen, ze stonků, z listů a z plodů. Veškerá tato vlákna obsahují celulózu, přičemž nejvíce jí obsahuje bavlna (až 92 %) a nejméně kapok (pouhých 13 %). Celulóza slouží také k výrobě umělých vláken, jako je acetát celulózy, viskóza, či k výrobě umělého hedvábí a celofánu. Její nitrací se získává nitrocelulóza sloužící k výrobě trhaviny. [9]

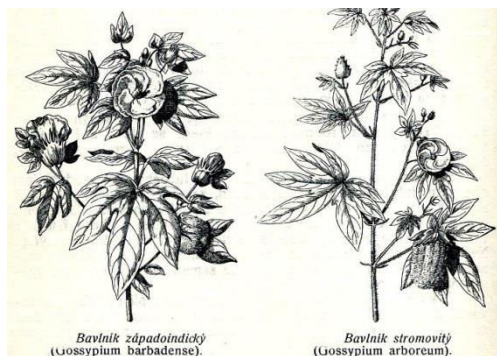
Celulóza se využívá také v jiných odvětvích průmyslu. Z čisté celulózy se vyrábí jednorázové nádoby či hygienické přístroje. Nádoby je vhodné pro studené i teplé nápoje do 80 °C, je rozložitelné na biomasu a humus, dá se kompostovat ve vlastních kompostérech, není potažené vosky, je vhodné pro alergiky a astmatiky. Veškeré výrobky jsou voděodolné, pevné a zdravotně nezávadné. [10]

## 2 Bavlna

Bavlna byla známá již od roku 800 před naším letopočtem, kdy se v Mexiku objevily první bavlněné tobolky a textilie. První zmínky o bavlně jsou však zaznamenány již od roku 3000 před naším letopočtem. Jeden z nejvýznamnějších obchodů s bavlnou započal v roce 1870 v New Orleans, v Brémách a v Liverpoolu. Od té doby bavlna zažívá růst na světovém trhu, i když v posledních letech jsou rostlinná a živočišná vlákna nahrazována vlákny syntetickými. Tržní produkce bavlny se pohybuje mezi 14 až 18 miliony tun ročně. Je jedním ze zdrojů nejčistší celulózy na Zemi. Její vlákna se využívají v textilním průmyslu k výrobě přízí, v papírenském průmyslu pro výrobu cigaretového nebo bankovního papíru, či k výrobě nitrocelulózy. Až 75 % světové produkce vlastní Čína, USA, Uzbekistán, Indie, Pákistán a Gruzie.

Bavlna se řadí do skupiny přírodních rostlinných vláken, která se získávají z jejích semen. Dlouhá vlákna, která jsou snadno oddělitelná, obrůstají bavlník černosemenný. Na rozdíl od vláken bavlníku zelenosemenného, který obsahuje nespřadatelný porost zvaný linters. Jinými druhy jsou například bavlník bylinný, barbadoský, srstnatý či bavlník stromovitý. Bavlna je objektem ustavičného šlechtění, jelikož rychle podléhá degeneraci. Mezi nejvýznamnější šlechtitelské cíle patří zdokonalení jemnosti, pevnosti, délky či barvy vlákna. Pěstování je v této době na nejvyšší úrovni, pěstitelé se zaměřují na faktory jako kvalitu hnojení, boj proti škůdcům či kvalitu zavlažování. V posledních letech se klade důraz na pěstování biobavlny, která není ošetřována chemickými postřiky. [5, 11]

Dříve se bavlník pěstoval v tropických a subtropických oblastech, dnes díky pěstění roste i v mírném podnebí. Bavlník roste téměř na všech kontinentech od Jižní Ameriky až po Asii, avšak v tropických oblastech se od jeho pěstování už upustilo. V zemích s mírným podnebí se pěstuje jako jednoletka, jelikož je rostlina náchylná ke zmrznutí. Naopak v teplejších oblastech se pěstuje jako rostlinná dvouletá či víceletá, ba dokonce jako strom v řádech desítek let. [4]



Obrázek 3 Vyobrazení bavlníku západoindického (barbadoského) a stromovitého [12]

## 2.1 Pěstování bavlny

Semena bavlníku začínají klíčit už za jeden týden. První výhonky vypadají jako listy hrachu setého, později ztmavnou a vypnou se do výše. Dostanou tvar, který se liší podle druhu bavlníku – tří až sedmicípý. Každý druh bavlníku je specifický svou barvou, výškou, chmýřím apod. Mezi 40 až 60 dní vyrazí ze stonku stopka pro poupata, která 20 až 30 dní rozkvétají. Květy se zbarvují do žluté nebo růžové barvy. Zhruba po 70 dnech květy odpadnou a na rostlině zbydou pouze tobolky, které jsou rozděleny většinou do 4 až 5 chlopní, přičemž každá obsahuje až 20 semen, která se obalují vlákny rostoucí zvenčí dovnitř. Díky puknutí tobolky se vlákna dostanou na povrch rostliny. Ideální prostředí pro pěstování bavlníku je mírná teplota kolem 20 °C bez přímých horkých slunečních paprsků. Celý bavlník roste v rozmezí od 120 do 180 dnů dle podmínek jeho pěstování. Jednoletá rostlina dosahuje výšky 60 – 80 cm, dvouletý až čtyřletý keř má 1 až 2 metry, a strom může vyrůst až do výšky 6 metrů. [4]

Mezi nejznámější druhy bavlníku patří:

- a) bavlník srstnatý – dvouletý keř z Mexika se žlutými květy, zelenosemenný, odolný vůči degradaci, střední délka jeho vláken činí 25 – 46 mm, nazývá se Upland, představuje 87 % veškeré produkce bavlny
- b) bavlník barbadoský – jednoletá či dvouletá bylina z ostrova Barbados se žlutými květy, černošenný, dlouhá vlákna v rozmezí od 26 – 66 mm, nazývá se Pima, dražší a známější varianta pěstovaná pouze v USA díky dobrým hygroskopickým podmínkám se nazývá Sea Island, představuje 8 % veškeré produkce bavlny
- c) bavlník stromový – víceletá rostlina, až 6 metrů vysoký s načervenalými květy z Indie a Pákistánu, kratší vlákna v rozmezí 20 – 38 mm, pěstován hlavně v Indii a Číně, obsahuje velmi jemnou bavlnu
- d) bavlník bylinný – jednoletá bylina se žltorůžovými květy původem z jižní Afriky, pěstován v Indii, kratší vlákna v rozmezí 15 – 26 mm, bavlna se nazývá Surat
- e) bavlník peruánský – víceletá bylina se žlutými květy původem z Peru, délka vláken v rozmezí 32 – 38 mm, velice pevná vlákna, podle některých botaniků se jedná o odrůdu bavlníku barbadoského

Existuje spousta druhů bavlníku, které mají své další odrůdy. V současné době se díky šlechtění a křížení hovoří téměř o stovce druhů. Doktor Royle rozeznává čtyři hlavní druhy bavlníku – stromový, bylinný, barbadoský a srstnatý. Bowman přidává místo bavlníku srstnatého bavlník peruánský a botanik Linné zahrnuje do výpočtu ještě bavlník žlutý (čínský). Díky rozdílnosti výzkumů různých vědců a botaniků se nedá hovořit o přesném

rozdělení druhů. Už jen vláda USA shromáždila na výstavě v Paříži přes 500 různých druhů bavlníku, přičemž většina z nich byly variace stejných odrůd získané křížením a ustavičným šlechtěním. Botanik A. Oppel sepsal tabulku obsahující hlavní druhy a variace bavlny, která obsahuje 60 druhů bavlníků. Svá data podložil zveřejněnými tituly jejich objevitelů. Jedno z rozdělení bavlníků zahrnuje dělení podle semen: a) s chmýřím bez bavlny, b) s chmýřím a bavlnou se srostlými kališními listy, c) s chmýřím a bavlnou s volnými kališními listy, d) bez chmýří a bez bavlny.

Egyptský bavlník zaujímá významné postavení mezi druhy bavlny. Jedná se o jednoletou bylinu vysokou mezi 1 až 2 metry. Jeho vlákna jsou nažloutlá či nahnědlá, dlouhá 32 – 40 mm a jsou používána hlavně k výrobě mercerovaných přízí. Snahou botaniků a zemědělců bylo vypěstovat egyptský bavlník v jiných zemích, avšak vypěstovaná bavlna neměla takovou kvalitu jako bavlna pěstovaná přímo v Egyptě. [4]

## 2.2 Vlákno bavlny

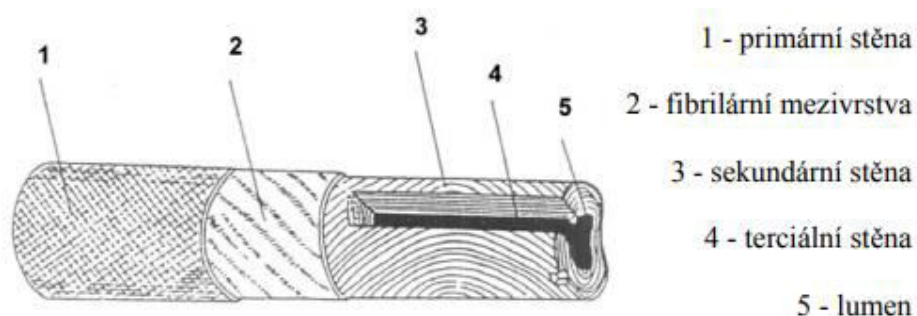
Bavlněné vlákno se začíná tvořit již ve květu, vyrůstající v tobolece ze semen. Dosahuje délky od 10 do 30 mm (některá literatura zmiňuje i 60mm vlákna) a tlusté je v rozmezí  $\mu\text{m}$  od 12 do 45  $\mu\text{m}$ . Je jedno z nejpoužívanějších vláken v textilním průmyslu. Bavlněné oblečení se vyznačuje příjemným, měkkým a hřejivým omakem. Vyniká dobrou pevností, lepšími tepelně-izolačními vlastnostmi a vynikajícími sorpčními vlastnostmi. Využívá se v oblasti oděvnictví, ložního a stolního prádla, dekoračních a bytových textilií, technických textilií apod. [4, 14]

### Chemické složení bavlněného vlákna

- 88 – 96 % celulózy
- 1,1 – 1,9 % bílkovin
- 0,9 – 1,2 % pektinů
- 0,7 – 1,6 % minerálních solí
- 0,5 – 1,0 % organických kyselin
- 0,3 – 1,0 % vosků
- 0,3 % cukrů
- 0,9 % ostatních látek jako vitamíny, pigmenty apod.

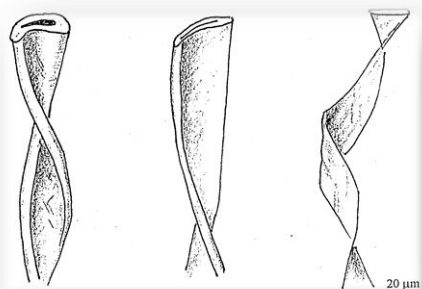
Bavlněné vlákno je před jeho vysušením cylindrického tvaru. Celé vlákno se skládá ze tří stěn, přičemž jeho povrch pokrývají vosky, tuky a pektiny. Primární stěna je tenká, obsahující fibrilární svazky silné od 0,1  $\mu\text{m}$  do 0,2  $\mu\text{m}$ . Sekundární stěna plní až 95 % celého vlákna. Skládá se z primární vrstvy a druhé vrstvy, jejíž tloušťka 4  $\mu\text{m}$  obsahuje

fibrilární mezivrstvy. Terciární vrstva, silná 0,1  $\mu\text{m}$ , ohraničuje lumen. Bavlněné vlákno obsahuje fibrilární svazky skládající se z jednotlivých fibril. Fibrily se mohou dále dělit na mikrofibrily, jejichž průměr je 3 – 6  $\mu\text{m}$  a délka kolem 60  $\mu\text{m}$ . [4, 15]



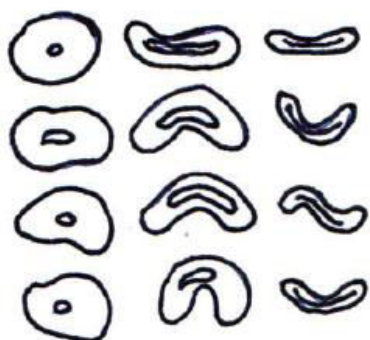
Obrázek 4 Průřez bavlněným vláknem [16]

Po vysušení se vlákno smrští a zatočí. Jeho tvar připomíná zploštělou spirálu. Každé vlákno má rozdílný tvar, a sice dle zralosti. Zralost bavlněného vlákna se určuje z podélného pohledu, či příčného řezu mikroskopického měření. Další metodou zralosti vlákna je bobtnání v 18% hydroxidu sodném. Metodou obrazové analýzy se stupeň zralosti bavlny určí pouze pomocí obvodu příčného řezu vlákna  $P$  a plochy sekundární stěny  $A$ . Vzorec pro výpočet se vyjádří:  $S = \frac{4 \times \pi \times A}{P^2}$ . Tloušťka primární a sekundární stěny se u zralého vlákna pohybuje mezi 5 – 6  $\mu\text{m}$ . Vlákna nezralá a mrtvá jsou více plochá a mají tenké stěny v řádech kolem 1  $\mu\text{m}$  a méně. Ve Schweitzerově činidle se nezralá vlákna buď úplně rozpustí, nebo po sobě zanechají nepatrnou stopu. Mrtvá vlákna, jinak řečeno předčasně odumřelá vlákna, nemají zesílené okraje a jsou téměř bez konvolucí. Nepsy jsou malé shluky vláken, která jsou převážně nezralá. K dalšímu zpracování nejsou vhodná, disponují špatnou barvitelností či nízkou pevností. Pokud hmotnost nepsů v bavlně je menší než 100 g, tak se bavlna považuje za zralou. Čím je hmotnost nepsů větší, tím je zralost bavlny menší. [13, 14]



Obrázek 5 Vlákno zralé, nezralé a mrtvé [13]

Podle tvaru příčného řezu vlákna, vyzkoumaného mikroskopickou zkouškou, se rovněž určuje zralost vlákna. Zralé vlákno nemá tolik výrazný ledvinovitý tvar a je u něj patrný lumen. Nezralá a mrtvá vlákna jsou více ledvinovitá, v případě mrtvých vláken neobsahují lumen téměř žádný. Působením hydroxidu sodného bavlna bobtná a její příčný řez se mění z tvaru ledvinovitého na tvar kruhový. Tato operace se nazývá mercerace. Probíhá za studena v napjatém stavu, díky tomu vlákna dostanou vyšší lesk, vyšší pevnost v tahu, nižší sráživost, zvýšenou afinitu k barvivu či zvýšenou odolnost k povětrnostním vlivům a slunečním paprskům. [4, 14]



Obrázek 6 Příčný řez bavlnou; zralá, nezralá, mrtvá

Bavlna bobtná v silných alkáliích, jako je hydroxid sodný, díky němuž se dosahuje mercerace. Vlákno nabobtná, získá kulatější tvar, zároveň se zlepší řada jeho charakteristických vlastností. Rychlejší zbobtnání dochází při ponoření bavlny v kapalném čpavku, důsledkem porušení vodíkových můstků v řetězcích. Při mikroskopické zkoušce se bavlna ponoří do Schweitzerova činidla, díky kterému lze pozorovat perličkový efekt. Díky činidlu lze rozeznat zralost bavlny, jelikož nezralá a mrtvá bavlna se rozpustí. [4, 5]

Vlákna citlivěji reagují na zvýšení vlhkosti, díky které může vést ke změně různých mechanických vlastností, jako pevnost či tažnost. U vláken se poruší vodíkové můstky, důsledkem čehož vzniká jejich deformabilita. Díky teplotě nad 120 °C vlákno žloutne a nad 150 °C zhnědne. Při teplotách nad 250 °C se vlákno dehydratuje a dochází k jeho destrukci. Na rozdíl od vlny je bavlna odolnější vůči povětrnostním vlivům či světlu. Poškodí se však při dlouhém působení slunečních paprsků, což dokazují chemické testy, které prokazují přítomnost tzv. fotocelulózy. [4,13]

### 2.2.1 Geometrické a mechanické vlastnosti vlákna bavlny

První z geometrických vlastností bavlněného vlákna je jemnost. Zpravidla jemnost vyjadřuje vztah mezi délkou a hmotností, nazývá se proto délková hmotnost. Jednotkou

Jemnosti je tex. Jemnost 1 tex znamená, že délka 1km délkové textilie má hmotnost 1 g. Jemnost bavlny se vyjadřuje pomocí jednotky tex, která vyjadřuje poměr mezi hmotností a délkou vlákna. Vyjadřuje se pomocí vzorce:

$$T = \frac{M}{L}, \text{ kde } M \text{ vyjadřuje hmotnost v gramech a } L \text{ délku v kilometrech.}$$

U bavlněných vláken platí, že čím delší, tím je jemnější. Jemnost se stanovuje buď mikroskopicky, nebo různými metodami. U mikroskopického určování se počítá s průměrem vlákna, avšak pouze u vláken kruhového průřezu. Proto se u bavlny počítá spíše s plochou průřezu vlákna. Jemnost lze určit gravimetrickou, rezonanční či pneumatickou metodou. Speciálně bavlnu lze měřit na přístroji Micronaire, který je mnohdy součástí poloautomatických strojů HVI (High Volume Instruments) složených do linek, na kterých lze měřit pevnost, jemnost, obsah nečistot, vlhkost apod. [13]

Délka bavlněného vlákna se měří od jeho obou konců bez obloučků a napětí. Označuje se jako stapl, jehož statistické znázornění se zakreslí pomocí staplového diagramu. Měření délky vlákna se provádí ručně pomocí skleněné desky a pravítka, nebo pomocí zařízení. Ruční měření je zdlouhavější, mnohdy s využitím adhesiv. Přímá metoda měření se provádí na třídícím kuličkovém přístroji nebo na linkách HVI. Nepřímou metodou je například stanovení hmotnostním způsobem či měřením v třásni. V celé délce vlákna lze zpozorovat její kroucení. Zákrut vlákna je důležitý, jelikož zvyšuje povrchové tření. Jedná se o kroucení vlákna, které směřuje buď doleva (zákrut S), nebo doprava (zákrut Z). U bavlněného vlákna se většinou zakroucení střídá. Někteří vědci říkají, že čím víc zákrutů, tím je bavlna kvalitnější. Měří se buď ručně nebo pomocí zákrutoměrů.

Jednou z mechanických vlastností vláken je pevnost neboli síla do přetrhu. Kvalita pevnosti bavlněného vlákna se měří na již zmíněných linkách HVI, jejichž součástí je Pressley tester, či na dynamometru. Velikost nad 31 g/tex vyjadřuje velmi pevné vlákno, naopak velikost pod 23 g/tex charakterizuje vlákno slabé. Čím jemnější vlákno, tím má menší pevnost. Za mokra dosahuje vlákno 100 – 120% pevnosti za sucha. Díky merceraci se pevnost vlákna zvyšuje až trojnásobně. U kratších vláken se mnohdy předpokládá větší pevnost, jelikož delší vlákna mohou obsahovat různé nepravidelnosti jako například slabší místa. Tažnost bavlněného vlákna je velmi vysoká, pokud dosahuje alespoň 7,7 % a výše, nízká tažnost se vyjadřuje pod 5 %. Za mokra vlákno získá 100 – 110 % tažnosti za sucha. Na rozdíl od jiných vláken nemá bavlna větší tažnost než 20 %. [4, 14]



### 3 Poškození bavlny

Jak již práce zmiňuje, bavlněné vlákno se poškozuje působením různých chemických činitelů – pomocí kyselin, alkálií, redukčních prostředků, solí apod. Při těchto poškozeních dochází ke štěpení dlouhých makromolekulových řetězců, které vedou k degradaci vlákna. To přichází o řadu mechanických či chemických vlastností. [1, 7]

Hlavní složkou bavlněného vlákna je celulóza. Pokud na celulózové vlákno působí kyseliny, poškodí se a začne na sebe vázat řetězce aldehydických skupin. Takový typ celulózy se nazývá hydrocelulóza. Když je vlákno naopak poškozené alkáliemi (oxidačními prostředky), vznikají v molekule aldehydické skupiny, které se časem díky oxidaci přemění na skupiny karboxylové. Vlákno má nižší polymerační stupeň a zhoršené mechanické vlastnosti. Celulóza poškozená oxidačními prostředky se nazývá oxycelulóza. Vlákna mohou být poškozena rovněž vysokou teplotou (pyrocelulóza), přímým osvětlováním (fotocelulóza), houbami a plísněmi, bakteriemi, hmyzem, či mechanickými vlivy.

V poškozené celulóze vznikají karbonylové a karboxylové skupiny, které mimo přirozené stárnutí vznikají také kvůli izolačním či čistícím procesům. Možné dopady těchto skupin na vlastnosti celulózy mohou být okyselení, změna povrchu, změna pevnosti, ztuhlost, křehkost, rychlejší stárnutí, žloutnutí, zadržování vody a mnoho dalších. Oxidační změny celulózy provází některé procesy jako například rozvlákňovací metody dřeva, zejména pomocí siřičitanů, díky kterým vzniká v řetězcích mnoho karbonylových skupin. Další z příčin přítomnosti karbonylových skupin je bělení, díky kterému dostane produkt lesklý vzhled. Karbonylové skupiny vznikají také kvůli beta a gama ozařování. Karbonylové skupiny se stanovují klasickými metodami jako je metoda pomocí měďného čísla, toxické metody s kyanidem a hydrazinem či titrací borohydridu sodného a dalšími. Karboxylové skupiny se stanovují metodami pomocí methylenové modři, neutralizací kyseliny chlorovodíkové konduktometrií či neutralizací chloridu sodného pomocí titrace. [18]

Poškození celulózového vlákna lze stanovit již během předběžných zkoušek. Poškození se může projevit v podobě děr či zeslabením místa ve výrobku. Pokud není poškození patrné pouhým okem a není u výrobku patrná pravidelnost poškození, jedná se o chemické poškození, nikoliv o poškození mechanické. Poškození lze stanovit také mikroskopickými zkouškami. Pohled pod mikroskopem mnohdy pomáhá určit, zda je poškození chemické či mechanické. Jeden ze způsobů je založen na pozorování bobtnání vláken v 13,5% roztoku hydroxidu sodného. Konce nepoškozených vláken se po

aplikování hříbovitě zduří. Naproti tomu vlákna poškozená se nafouknou v celé své šířce. [15, 17]

### 3.1 Hydrocelulóza

Hydrocelulóza vzniká hydrolyzou celulózy kvůli jejímu poškození kyselinami. V řetězcích vznikají aldehydické skupiny, charakteristické pro hydrocelulózu. Přesněji řečeno se aldehydická skupina vytvoří na každé molekule uhlíku. Amorfní části řetězce celulózy se poškozují rychleji než části krystalické. Hydrocelulóza se může snadno změnit v oxycelulózu, a to působením oxidačních činidel, díky kterým se aldehydické skupiny změní na skupiny karboxylové. Díky tomu se oxycelulóza může prokazovat i zkouškami určenými pro důkaz hydrocelulózy. [17]

#### 3.1.1 Důkazy hydrocelulózy

Jedním z důkazů hydrocelulózy je způsob stanovení pomocí měďného čísla. Celý proces je založen na působení Fehlingova činidla a stanovení množství mědi, která se na vláknu usadí ve formě oxidu měďného. „Číslo mědi udává množství mědi v gramech, které se vyredukuje 100 gramy absolutně vysušeného zkoušené materiálu.“ [17] Číslo mědi čisté celulózy se pohybuje kolem 0,2 až 0,3, kdežto u poškozené celulózy dosahuje až 10. Vzorec pro výpočet čísla mědi se vyjádří podle vzorce:

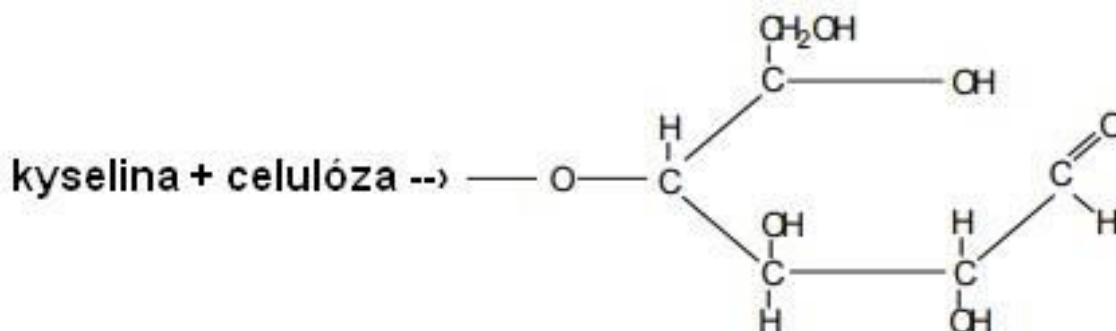
$$\check{c}_{Cu} = \frac{0,0636 \times n}{m}$$

kde  $n$  vyjadřuje spotřebované množství titrovaného manganistanu draselného v ml, a  $m$  znamená hmotnost poškozeného vzorku, váženého za sucha. [14, 16] Číslo mědi zmiňuje také organizace Tappi, sdružující přes 14 000 inženýrů, vědců, akademiků apod., která měření nazvala jako metodu T430. [19]

Hydrocelulóza se dokazuje také pomocí zkoušky amoniakálního roztoku dusičnanu stříbrného. Do roztoku zahřátého na 80 °C se vloží vzorek. U poškozeného vzorku lze spatřit hnědou sraženinu, jejíž intenzita závisí na stupni poškození. Po opláchnutí poškozená místa zůstávají zbarvená, na rozdíl od nepoškozených míst, která se odbarví.

Další ze způsobů dokazování poškození vlákna je reakce na berlínskou modř. První roztok, který se při pokusu používá, se skládá ze síranu železitého a síranu amonného, které jsou rozpuštěny v destilované vodě a následně doplněny jedním litrem vody. Druhý roztok se skládá z ferokyanidu draselného, rozpuštěného v destilované vodě a doplněného jedním litrem vody. Oba roztoky se společně s destilovanou vodou zahřívají do varu a po odstavení se do nich na minutu vloží poškozené vzorky. Po vyndání se

vzorky oplachují roztokem kyseliny sírové a následně vodou. Místa, která jsou poškozená, se zbarví do modra. Intenzita vybarvení rovněž záleží na stupni poškození. [17]

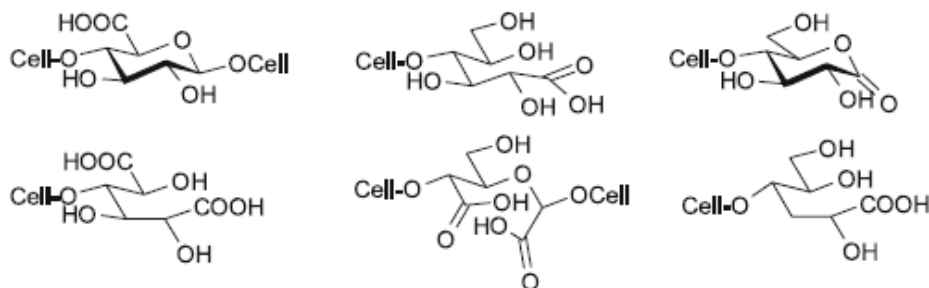


Obrázek 7 Celulóza s aldehydickou skupinou [20]

### 3.2 Oxycelulóza

Při poškození celulóзовých vláken oxidačními činidly, vznikají v řetězcích makromolekuly aldehydické skupiny, stejně jako u poškození hydrolytického. Postupem času se však aldehydické skupiny přemění na skupiny karboxylové, záleží jen na podmínkách, jak rychle k tomu dochází. Tento produkt poškozené celulózy se nazývá oxycelulóza. Na rozdíl od aldehydických skupin nemají karboxylové skupiny redukční účinky, tudíž je oxycelulóza snadněji dokazatelná, a to bazickými barvivy, jako je methylenová modř. Oxycelulóza vzniká již při bělení výrobků, proto se mnohdy zboží nedoporučuje bělit, ale pouze vyvářet. Při oxidaci bavlny se porušují řetězce celulózy, což přispívá ke snížení pevnosti vláken a neschopnosti stejnoměrného vybarvení. Vlákno bavlny stejně jako u hydrocelulózy bobtná nejdříve v amorfních částech vlákna, až poté v krystalických. Mění se mechanické a fyzikální vlastnosti vlákna, někdy se dokonce úplně rozpouštějí. Už jen při zahřívání bavlny v alkalickém prostředí za přítomnosti vzduchu vzniká oxycelulóza. Oxycelulóza se rozděluje na dva typy:

- a) kyselý typ – obsahuje převážně karboxylové skupiny, vzniká při již zmíněné oxidaci v alkalickém prostředí
- b) redukující typ – obsahuje převážně aldehydické skupiny, vzniká v kyselém prostředí [4,15]



Obrázek 8 Příklady karboxylových skupin v řetězcích celulózy [18]

### 3.2.1 Důkazy oxycelulózy

Jedním ze stanovení důkazu oxycelulózy je zkouška s methylenovou modří. Poškozený vzorek oxidačním činidlem se přibližně na dvacet minut ponoří do studeného 0,1% roztoku methylenové modři. Modř může být také teplá 60 až 100 °C, v tom případě postačí několik minut ponořený vzorek. Obarvený vzorek se poté promývá a pere ve vodě tak dlouho, než promývaná voda zůstává čirá. Pokud je vzorek nepoškozený, modř se velice rychle vypere. Naproti tomu u poškozeného vzorku obarvení nadále zůstává, jelikož se váže na karboxylové skupiny.

Druhé stanovení důkazu oxycelulózy je pomocí Nesslerova činidla. Činidlo obsahuje jodid draselný, chlorid rtuťnatý a hydroxid draselný. Všechny tyto látky se smíchají dohromady a do jejich roztoku se vloží poškozený vzorek. Poškozená místa oxycelulózou se obarví do žlutooranžové barvy, která poté přechází do šedé barvy. Kontrastnější vybarvení se získá propláchnutím ve zředěné kyselině octové.

Oxycelulóza se také prokazuje pomocí Hallerových reakcí. Rozdělují se na reakce s olovem a reakci se zlatým purpurem. U reakcí dochází k vázání oxycelulózy olova z vodného roztoku octanu olovnatého a k vázání cínu z roztoku chloridu cínatého. Reakce olova se váže pouze k poškození oxidačnímu, jelikož hydrocelulóza neváže z vodného roztoku octanu olovnatého olovo. Oxidačně poškozené vlákno se na rozdíl od nepoškozeného projevuje purpurovým zabarvením. Stejně jako u metody pomocí methylenové modři platí, že čím tmavší zabarvení, tím intenzivněji je vlákno poškozené. Stejně jako u reakce s olovem, ani reakce se zlatým purpurem není vhodná pro poškození hydrolytické. Oxidačně poškozená místa na sebe vážou oxid cínatý, který vytváří zlatý purpur.

Stejně jako u hydrocelulózy se oxycelulóza dokazuje zkouškou amoniakálního roztoku dusičnanu stříbrného. Zároveň se oxycelulóza dokazuje také při zkoušce pomocí hydrolytického poškození kyselinami (metoda měďného čísla), jelikož aldehydické

skupiny, které vznikají při procesu v hydrocelulóze, se mění na karboxylové skupiny, které jsou naopak přítomné v oxycelulóze. [14, 15]

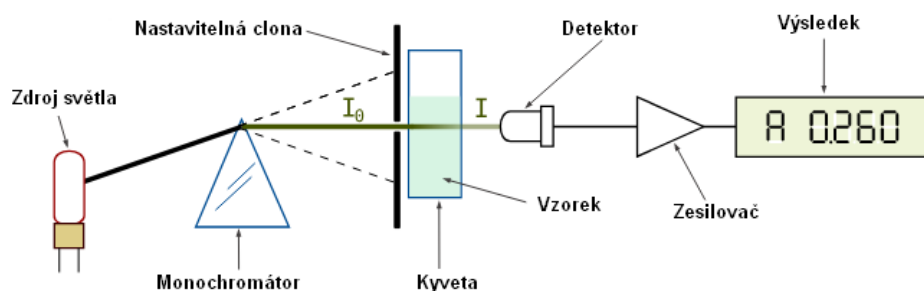
Metoda měďného čísla je jeden z kvantitativních způsobů stanovení hydrocelulózy a oxycelulózy. Díky stanovení čísla mědi se při této metodě určuje stupeň poškození celulózy. Číslo mědi, jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.1, se definuje jako „*udávané množství mědi v gramech, které se vyredukuje 100 gramy absolutně vysušeného zkoušené materiálu.*“ [17] Číslem mědi se rozumí ukazatel redukční schopnosti vlákna a zároveň přítomnost aldehydických skupin. Právě aldehydické skupiny jsou přítomné v řetězcích poškozené celulózy zvané hydrocelulóza. Jedná se o organické sloučeniny, které obsahují na molekule uhlíku aldehydickou funkční skupinu -CHO. Díky metodě měďného čísla se však také zjišťuje poškození oxidačními způsoby, neboli oxycelulóza. Aldehydické skupiny se díky reakci s kyslíkem přemění na karboxylové skupiny -COOH. Stanovení čísla mědi se provádí pomocí metody Schwalbe-Hägglunda. K důkazu se používá Fehlingův roztok, užívaný k rozlišení aldehydů nebo ketonů, ve kterém se povaří poškozené vzorky, které jsou následně promyté a převrstvené síranem železitým. Již po povaření a promytí lze na vzorkách zpozorovat vyloučený oxid měďný, který je důkazem hydrolytického i oxidačního poškození celulóзовých vláken. Veškerá odfiltrovaná kapalina se titruje 0,01N roztokem manganistanu draselného. [17]

V roce 1967 byla schválena již neexistující norma ČSN 80 0600, která pojednávala o stanovení čísla mědi celulózy v textilních surovinách, polotovarech a výrobcích. Obsahovala definici a zkoušku čísla mědi, při které se odfiltrovaná kapalina titrovala v 0,01N roztoku síranu ceričito-amonného do světle zeleného zbarvení. [21]

## 4 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je metoda, která se používá v různých odvětvích, ať už v chemii nebo v medicíně. Jedná se o kvantitativní metodu měření, ve které se stanovuje hledaná složka na základě intenzity jejího zbarvení. Pokud není složka zbarvená, musí se nechat zreagovat s činidlem, se kterým dohromady vytvoří barevný produkt. Díky spektrofotometrii se měří například koncentrace určité látky v roztoku na základě pohlcování světla. Předchůdcem spektrofotometrie je fotometrie, která se řadí mezi vizuální metody. Při této metodě se výsledný produkt porovnává s barevnou kalibrační škálou.

Spektrofotometrie je na rozdíl od fotometrie vybavena speciálním zařízením, které se nazývá spektrofotometr. Jeho součástí je světelný zdroj, čočky a zrcadla, kvalitní barevný filtr, kyveta (speciální nádobka), monochromátor a detektor v podobě optického čidla, které měří intenzitu světla. [22]



Obrázek 9 Schéma spektrofotometru [23]

Při měření je nutné nastavit vlnovou délku absorpčního maxima. Vlnová délka se označuje také jako barva paprsku, a je nejlepší, když se nastaví proti čistému rozpouštědлу, což je nejčastěji voda. Celé měření probíhá v oblasti viditelného spektra, které má absorpční vlnovou délku od 360 nm do 670 nm.

Spektrofotometrie je založena na absorpenci světelného paprsku v měřeném roztoku. Zbarvený produkt se měří ve speciální nádobce, zvané kyveta. Světelný paprsek projde skrz kapalinu v kyvetě, a za ní umístěný detektor změří intenzitu světla. Molekuly obsažené ve vzorku pohltí při průchodu světelného paprsku část jejího světla. Výsledkem je absorbance - logaritmičká funkce úbytku světla paprsku, který prochází skrz vzorek a vyjadřuje se  $A = -\log_{10}(I/I_0)$ . Intenzita prošlého světla značeného  $I$  je po změření menší než intenzita počátečního světla  $I_0$ . Měření různých roztoků se musí měřit v kyvetě

stejného rozměru. Pokud se stejný roztok změří ve větší nádobě, bude jeho absorbance větší, jelikož procházející světlo bude pohlceno větším počtem molekul. [22]

Druhy spektrofotometrie se dělí podle rozsahu absorbovaných vlnových délek na:

- molekulovou absorpční spektrofotometrii
- molekulovou absorpční spektrometrii v UV oblasti elektromagnetického spektra

Jedním z důležitých typů spektrofotometrie je infračervená spektroskopie. Jejím výstupem je infračervené spektrum. Využívá se v mnoha oblastech výzkumů. Díky této metodě se dá získat kvantitativní analýza, která slouží k identifikaci množství látek ve vzorku včetně organických a anorganických. [22]



Obrázek 10 Spektrofotometr

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 5 Poškození vzorků

Experimentální práce v laboratořích se zabývaly poškozováním bavlněných vzorků oxidačními činidly, stanovováním důkazu oxycelulózy, a co nejpřesnějším postupům těchto experimentů, které dosáhnou efektivních výsledků. Před samotným dokazováním oxidačního poškození bavlněných vzorků se musely vybrat vzorky, které jsou vhodné k poškozování a posléze je poškodit konkrétní oxidační látkou.

#### 5.1 Bavlněné vzorky

Pro celý výzkum se vybraly pouze bavlněné vzorky. Základní jednotkou bavlněných vláken je celulóza, proto se po jejím poškozování objevuje v řetězcích hydrocelulóza nebo oxycelulóza. Pro dokonalé dokazování přítomnosti oxycelulózy by měla být vlákna zbavena nečistot, šlichty, vosků a jiných látek, které by mohly znehodnotit výsledky. K experimentu byly vybrány čtyři různé bavlněné tkaniny:

- tkanina 1 – dostava 280/210 nití na 10 cm; plošná hmotnost = 120 g/m<sup>2</sup>
- tkanina 2 – dostava 300/240 nití na 10 cm; plošná hmotnost = 141 g/m<sup>2</sup>
- tkanina 3 – dostava 320/280 nití na 10 cm; plošná hmotnost = 135 g/m<sup>2</sup>
- tkanina 4 – dostava 230/190 nití na 10 cm; plošná hmotnost = 104 g/m<sup>2</sup>

Na všech vzorcích vybraných tkanin byl proveden test, zda nejsou upraveny šlichtou. Šlichta se aplikuje na tkaniny kvůli tomu, aby osnovní nitě byly hladší, mechanicky pevnější. Příze jsou poté lépe zpracovatelná při samotném tkaní. Šlichty se dělí na vypratelné a nevypratelné. U vzorků byl proveden test na nevypratelné škrobové šlichty. Důkaz přítomnosti šlichty se dosvědčí pomocí jodového roztoku v jodidu draselném pro stanovení škrobových šlicht. Pokud se roztok nanese na ošlichtovanou tkaninu, místo se zbarví do tmavomodré. V případě červené, fialové a hnědé barvy se jedná o důkaz přítomnosti dextrinu – polysacharidu vzniklého hydrolyzou škrobů. Výsledkem bylo, že na první tři tkaniny byla nanášena škrobová šlichta. Poslední tkanina neprošla žádným škrobovým ošlichtováním. Poškození probíhalo nadále pouze u tkaniny 1 a tkaniny 4 z důvodu nejlepší smáčivosti a manipulací se vzorky.



## 5.2 Chlornan sodný

K oxidačnímu poškození vzorků se využívá konkrétního oxidačního činidla. K těmto pokusům byl vybrán chlornan sodný. Sumárním vzorcem chlornanu sodného je  $\text{NaClO}$ , jeho molární hmotnost činí 74,44 g/mol. Jedná se o žíravou, nehořlavou látku, která má slabě alkalický charakter. Naproti tomu se jeví jako silné oxidační činidlo vysoce toxické pro vodní organismy. Chlornan sodný se může nacházet ve formě bílé krystalické látky. Avšak většinou se vyskytuje v kapalném stavu jako žlutozelená, slabě zakalená nebo mnohdy čirá kapalina. Ve skupenství plynném se nachází v podobě plynného chloru, který vzniká díky okyselení. Po přidání jakékoliv kyseliny se právě plynný chlor začne uvolňovat do vzduchu. Společně s ním se uvolňují i další nebezpečné plyny v závislosti na druhu použité kyseliny. Chlornan by se měl uchovávat na tmavém místě, nejlépe pokojové teploty. Sluneční záření a teplota nad 27 °C z něj uvolňuje kyslík. [24, 25, 26]

Chlornan je těkavý, uvolňuje do ovzduší chlor. Jeho roztok se rozkládá na chlorid a chlorečnan. Rychlost a intenzita závisí na podmínkách okolí, zvláště na teplotě. Způsobuje poleptání kůže a poškození očí, proto by k němu měl člověk přistupovat s ochrannými prvky, jako jsou obličejový štít, ochranné brýle, nitrilové rukavice, ochranný oděv, popřípadě s ním manipulovat pomocí dýchacího přístroje. Dohromady s jinými látkami může tvořit výbušné směsi např. s kyselinou mravenčí, redukčními činidly nebo s vybranými kyselinami. Díky některým látkám, jako jsou organické látky či jiný redukční činidla, se může vyskytnout nebezpečí požáru. Při manipulaci s chlornanem sodným by neměl člověk setrvat v uzavřené místnosti, avšak v prostoru s cirkulací vzduchu, či jinou možností odsávání vzduchu. Chlornan sodný se může zlikvidovat pomocí roztoku disiřičitanu sodného, který má ve vlastnostech redukční schopnost aktivního chloru, mimo to také neutralizaci hydroxidu sodného. [24, 25]

### 5.2.1 Stanovení aktivního chloru

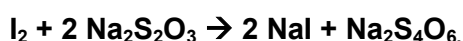
Jelikož se chlornan rozkládá na chlorid a chlorečnan, a také se z něho uvolňuje chlor, mizí rovněž podíl aktivního chloru v roztoku. Aktivním chlorem se rozumí ta část, která se dá uvolnit okyselením, konkrétněji kyselinou chlorovodíkovou. Starý vyčpělý chlornan nebude mít takovou sílu a koncentraci jako chlornan nově koupený. Uvolňování aktivního chloru se vyjadřuje dle rovnic,



kdy do reakce vstupuje chlornan sodný, který je okyselen kyselinou chlorovodíkovou. Tím vzniká kyselina chlorná a chlorid sodný. Kyselina chlorná se dále rozloží pomocí kyseliny chlorovodíkové na vodu a dvě molekuly chloru. Uvolněný aktivní chlor aktivně reaguje s jodidem draselným, ze kterého uvolňuje jod podle rovnice  $2 \text{Cl}_2 + 2 \text{KI} \rightarrow \text{I}_2 + 2 \text{KCl}$ . Tento fakt je důležitý pro samotné stanovení aktivního chloru, jelikož uvolněný jod reaguje s thiosíranem sodným:  $\text{I}_2 + 2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow 2 \text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$  [15]

Pro oxidační poškození vzorků byl použit roztok chlornanu sodného. Práce v laboratořích se rovněž zabývala měřením aktivního chloru v roztoku u každého poškození. Měření se provádí jodometricky. Pro přípravu se použije 10% roztok jodidu draselného, který se připraví z deseti gramů jodidu a devadesáti mililitrů vody. Další složkou pokusu je kyselina chlorovodíková ředěná 1:5, která se vyrobí ze 40 mililitrů kyseliny chlorovodíkové přidané do 160 mililitrů vody. Do titrační baňky se přidalo 10 mililitrů roztoku jodidu draselného s 20 mililitry ředěné kyseliny chlorovodíkové. Poté se odpipetuje 1 mililiter chlornanu sodného. Společně s předchozí směsí vytvoří tmavě hnědou kapalinu. Závisí ovšem na síle chlornanu, jelikož slabší chlornan obarví směs v baňce maximálně do žluté barvy.

Po přípravě směsi v baňce se přechází k titrování. Do byrety se připraví již zmíněný thiosíran sodný, který má látkovou koncentraci 0,05 mol/l a odpovídá tak 0,001773 gramům aktivního chloru. Směs se poté titruje thiosíranem sodným. Postupným přidáváním většího množství reaguje uvolněný jod s thiosíranem a hnědé zbarvení zesvětluje. Rovnice pro tento proces se vyjádří jako:



Titrací vznikají 2 molekuly jodidu sodného a jedna molekula tetrathionanu sodného. [15] Pro lepší rozpoznání se jako indikátor použije škrobový maz. Ten se připraví povařením malé lžičky škrobu v destilované vodě. Jeho dvě kapky směs v baňce obarví na tmavě modrou až černou barvu. Přechod mezi černou a bílou barvou je lépe rozpoznatelný než přechod mezi žlutou a bílou barvou. Titruje se až do úplného odbarvení směsi. Samotný výpočet aktivního chloru se vyjádří podle vzorce:

$$c_{\text{aktivního chloru}} [\text{g/l}] = V \times 0,001773 \times 1000$$

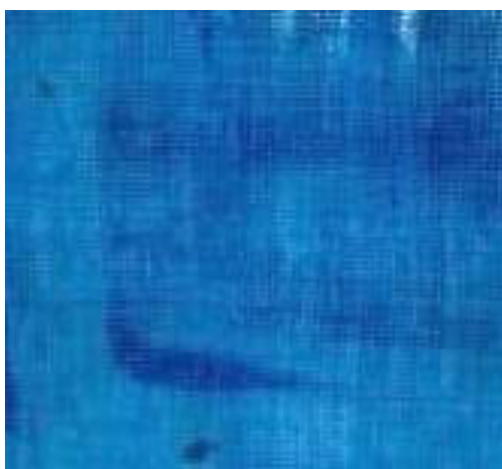
kde  $c$  znamená množství aktivního chloru v g/l a  $V$  vyjadřuje spotřebu titrovaného thiosíranu sodného o látkové koncentraci 0,05 mol/l v mililitrech. [15]

### 5.3 Poškození vzorků

Při poškozování bavlněných vzorků byl kladen důraz na co nejdůkladnější poškození a na stejnoměrnost poškození, které nevykazují známky chyb. Všechny vzorky by měly být poškozeny stejně, proto se od začátku zkoumaly různé způsoby poškozování a hledala se ta nejvhodnější metoda. Po každém poškození chlornanem následovalo dokazování poškození pomocí metody methylenové modři. Při této zkoušce se vzorky vloží na dvacet minut do 0,1% studeného roztoku methylenové modři nebo do 0,1% roztoku methylenové modři zahřátého na 60 – 100 °C na 5-10 minut. Po obarvení se vzorky promývají horkou a studenou vodou. Poškozené vzorky zůstávají obarvené, jelikož methylenová modř se váže na karboxylové skupiny oxycelulózy, a tím dokazuje její přítomnost. Vzorky nepoškozené se zcela odbarví do téměř bílé barvy. Vybarvení určuje stupeň chemického poškození.

- **Poškození v kádince**

Při prvním poškozování se vybrané bavlněné vzorky vložily do kádinek do 30 mililitrů chlornanu sodného a ponechaly se v nich v rozmezí od jedné minuty do deseti minut. Pro lepší rozpoznání byly vzorky opatřeny identifikačními zástřihy. Po uplynutí určité doby se vzorky postupně vyndaly a nechaly usušit při 105 °C. Po důkladném usušení se vzorky propláchly pod vodou a vložily se do připravené methylenové modři. Po vyndání a důkladném promytí vzorků bylo zjištěno, že vzorky jsou poškozeny nerovnoměrně, jsou skvrnité a není mezi nimi znatelný rozdíl v sytosti barvy, a to hlavně v záhybech, které byly způsobeny tím, že byly mnohdy v kádince ohnuté v nenarovnaném stavu. Vzorky se také v kádinkách vzájemně dotýkaly, což mohl být také jeden z důvodů nerovnoměrného poškození.



Obrázek 11 Nerovnoměrně poškozený vzorek

- **Poškozování na rámečku**

Aby se zamezilo ohýbání vzorků a nerovnoměrnému poškození, zvolila se při dalším zkoumání metoda pomocí rámečku. Pro poškozování se použil dřevěný rámeček, který po obrubě obsahuje kovové ostny. Na rámeček se napnul vzorek, který se připevnil kartáčkem pomocí ostnů. Při tomto pokusu by se měla použít bavlna, která se dobře smáčí a nasákavá kapaliny. Rámeček se vložil do vaničky, kde byl připraven chlornan sodný. Testovalo se 5 vzorků, které byly poškozovány v posloupnosti: 1 minuta, 2 minuty, 5 minut, 10 minut a 30 minut. Po usušení se z poškozených vzorků se poté vystříhly menší čtverce, které se propláchly ve vodě a vložily do methylenové modři. Po vyndání z lázně se vzorky promývaly, dokud nebyla voda čirá. Při prvním smočení ve vodě měly vzorky pH silně zásadité – indikační papírek byl tmavě modrý. Po posledním smočení bylo pH neutrální – indikační papírek nevykazoval známky zbarvení. Výsledek nebyl opět stoprocentní. Vzorky byly nerovnoměrně poškozeny a nevykazovaly žádné znaky sytosti barvy u posloupnosti delšího poškozování. Zvláště v místech, kde se tkanina dotýkala rámečku a ostnů, byly fleky výraznější. Při samotném poškozování došlo u některých vzorků k jejich znečištění. Na jeden vzorek se po jeho usušení muselo dostat pár kapek chlornanu sodného. Chyba se projevila po obarvení vzorků v methylenové modři, kdy po vyprání vzorku zůstaly pokapané části tkaniny více obarveny. To ovšem také dokazuje oxidační poškození a větší přítomnost karboxylových skupin, jelikož místo je více poškozené než zbylá plocha tkaniny. Chyba tudíž přispěla k předpokladům práce. Po poškozování byl změřen aktivní chlor v nově použitém chlornanu, kdy spotřeba po jodometrické titraci činila 62,58 ml thiosíranu sodného, což po použití vzorečku pro výpočet odpovídá 110,95 g/l aktivního chloru.



Obrázek 12 Tkanina na rámečku

- **Poškozování ve vaničce**

Metoda rámečku není úplně účinným prostředkem pro poškozování vzorků. Vedle něj byla zvolena metoda, kdy se poškozené vzorky vložily volně do vaničky, ve které byl chlornan sodný. Cílem bylo zajistit rovnoměrnost poškození a rozlišit intenzitu poškození v závislosti na času poškozování. Aby nedošlo k pomíchání vzorků, tak do vaničky byly umístěny vzorky opatřeny zástřihy, na rámeček naopak vzorky bez zástřihů. Vzorky se ponechaly v chlornanu poškodit 10 minut. Poté byly vyndány, usušeny, promyty vodou a vloženy do methylenové modři. Po vyndání z lázně byly opět promyty vodou. Po usušení byly znatelné rozdíly mezi oběma typy vzorků.

Vzorky, které byly na rámečku, vykazovaly známky nerovnoměrnosti poškození stejně jako u minulého pokusu. Nepoškozená a skvrnitá byla tkanina hlavně v místech dotyku dřevěnou konstrukcí rámečku a ostny. Naproti tomu vzorky, které se poškozovaly ve vaničce, byly již skoro rovnoměrně poškozené. Některé vzorky měly na sobě stopy, které byly nejspíš způsobeny tím, že vanička na svém dně měla vypouklé drážky. Pro poškozování se tedy předpokládá, že by vzorky měly být v hladké nádobě, kde mohou být volně ponořeny bez jakýchkoliv zásahů. Co se týká intenzity poškození, nebyly shledány žádné viditelné rozdíly mezi vzorky.

Jedním z důkazů, že chlornan ztrácí svůj podíl aktivního chloru, je další stanovení jodometrické titrace thiosíranem sodným po poškození vzorků. Mezi posledním poškozováním a tímto pokusem byl rozdíl jednoho týdnu. Spotřeba při titraci byla 58,45 mililitrů thiosíranu sodného. To znamená, že v chlornanu se nacházelo 103,63 g/l aktivního chloru, což je o 7,32 g/l méně než u předchozího měření.

- **Poškozování v Petriho miskách**

Díky předchozím pokusům o rovnoměrné poškození se při nadcházejícím poškozování přihlédlo k výběru nádoby, která disponuje hladkým dnem a neobsahuje žádné jiné nedokonalosti. Vzorky byly proto vloženy do Petriho misek s chlornanem sodným. Na vzorky, označeny zástřihy, se nechal působit chlornan 20, 40, 60 a 80 minut. Po vyndání z chlornanu bylo u vzorků, které se poškozovaly 60 a 80 minut, znatelné zvrásnění povrchu vzorků. Po následném vyndání z methylenové modři byly vzorky již rovnoměrně poškozeny. Rozdíly mezi vzorky v intenzitě zbarvení byly mírně znatelné. Vzorky poškozené 20 minut byly světlejší než vzorky, které byly v chlornanu 80 minut.

Další sady poškozování se prováděly vždy v Petriho miskách, kam se volně vložily do chlornanu sodného po dobu jedné minuty. Pokud se zacházelo s největší opatrností,

vzorky byly rovnoměrně poškozené. Podíl aktivního chloru opět klesnul, při titraci se spotřebovalo 54,55 mililitrů thiosíranu sodného, což znamená, že chlornan obsahuje 96,72 g/l aktivního chloru. Aktivní chlor dále klesal i při dalších pokusech. Koncentrace chlornanu sodného se tudíž při každém pokusu musí stanovit na stejnou hodnotu, aby nedocházelo k znehodnocování a rozdílnosti výsledků.

*Tab. 1 Podíl aktivního chloru podle data*

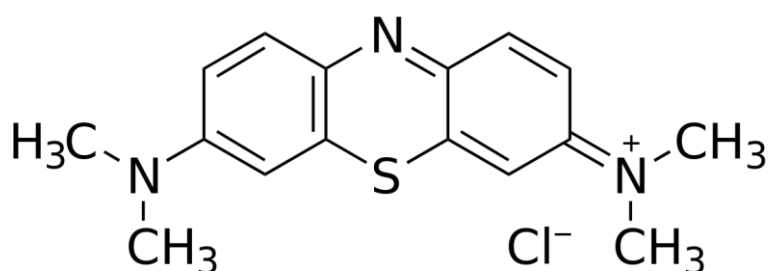
<b>Datum</b>	<b>Koncentrace aktivního chloru [g/l]</b>
<b>29. 11. 2017</b>	110,95
<b>6. 12. 2017</b>	103,63
<b>9. 1. 2018</b>	96,72
<b>18. 1. 2018</b>	92,55
<b>6. 2. 2018</b>	86,88
<b>13. 3. 2018</b>	75,51
<b>21. 3. 2018</b>	60,99
<b>4. 4. 2018</b>	57,62
<b>6. 6. 2018</b>	48,76

## 6 Zkouška methylenovou modří

Jedním z důkazů oxidačního poškození a přítomnosti karboxylových skupin je zkouška pomocí methylenové modři. Jedná se o bazické barvivo a heterocyklickou aromatickou sloučeninu. V pevném skupenství tvoří tmavozelený prášek a v kapalném skupenství utváří tmavomodrý až nafialovělý roztok. Obsahuje také číslo methylenové modři, které udává její adsorbované množství v milimolech 100 g vzorku. Rovnice pro výpočet množství methylenové modři zní:

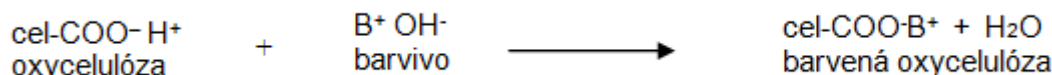
$$\text{koncentrace methylenové modři (mg} \times \text{g}^{-1}) = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{M}$$

kde  $C_0$  vyjadřuje koncentraci methylenové modři na začátku,  $C_e$  koncentraci methylenové modři v rovnovážném čase,  $V$  objem roztoku a  $M$  váhu vzorku. [27]



Obrázek 13 Strukturální vzorec methylenové modři [28]

Při ponoření vzorků do methylenové modři dochází k vázání barviva na karboxylové skupiny, které se vyskytují v řetězcích poškozené celulózy. Obarvením vzorku, které nejde posléze vyprat, se dokazuje přítomnost oxidačního poškození.



Obrázek 14 Princip barvení oxycelulózy bazickými barvivy [29]

Barvení se provádí za studena či za tepla. Při první možnosti se poškozené vzorky vloží do studeného 0,1% roztoku methylenové modři na dvacet minut. Naopak u druhé metody se vzorky ponoří na 5-10 minut do 0,1% roztoku, zahřátého na 60 – 100 °C. [14,16] Při laboratorních pracích se použily obě metody. Avšak u barvení za studena byly vzorky více rovnoměrně obarveny, neobsahovaly žádné fleky a jiné nedostatky. Barvení se proto dále provádělo pouze za studena. Důkaz stanovení touto metodou se provádí u vzorků

neošlichtovaných a nemercerovaných. V případě použití šlichty se musí vzorek nejprve odšlichtovat. Škrobové šlichty se lze zbavit odšlichtovacím prostředkem, který pracují na bázi enzymatického odšlichtování. Pokud jsou šlichty vypratelné, nemusí se šlichta odstranit enzymaticky, ale postačí pouze povaření vzorků ve vodě. [17]

Po obarvení se vzorky musí co nejlépe vyprat, aby se z nich odstranilo přebytečné barvivo. Po vyprání zůstane methylenová modř navázána pouze na karboxylových skupinách. Intenzita vybarvení určí stupeň poškození vzorku. Praní probíhalo intenzivně pod proudem vody nebo samovolným sepráním v litrových kádinkách. Ve druhém případě došlo k mnohem lepšímu odbarvení vzorků. Ty se nechaly ve vodě, která se několikrát vyměnila za čistou, až do vyprání vzorku. Vzorky se zkoušely vyprat také ve třech různých roztocích s odlišným pH. V první kádince se vzorky odbarvovaly ve vodě s pH 6,5. Ve druhé kádince se vzorky odbarvovaly v roztoku kyseliny octové s kyselým pH 3 a ve třetí kádince v zásaditém uhlíčitanu sodném s pH 10. Výsledkem bylo nejlepší odbarvení v prvních dvou kádinkách. Methylenová modř se nejhůř vyprala v zásaditém prostředí s uhlíčitanem sodným. Vzorky nebyly téměř vyprány a s každým dalším namočením vykazovaly uvolňování barviva. Zkouška probíhala také za varu. Polovina obarveného vzorku se vložila do kádinky s vodou a druhá polovina do kádinky s roztokem kyseliny octové. Kapaliny se přivedly k varu. Ve vodě i kyselině octové vznikala na povrchu kapalin modrý film, ze kterého lze určit množství uvolněné methylenové modři z poškozeného vzorku. Oba vzorky byly téměř stejně odbarveny, proto se pro další pokusy používalo odbarvení v kádinkách s vodou. Ke kyselině octové se také přidal roztok kyseliny sírové, avšak roztok zdegradoval a analýza filtrátu by neuváděla přesné výsledky.

Poslední série poškozování probíhaly u dvou různých bavlněných tkanin. Tkanina 1 s hustší dostavou se hůř smáčela, tkanina 4 s řidší dostavou, se smáčela mnohem lépe. Poškozování probíhalo formou postupného ředění. U první série poškozování se vzorky vložily na jednu minutu do koncentrovaného chlornanu sodného. Při každé další sérii se chlornan zředil s vodou, a to celkem devětkrát. Tím se snižoval také podíl aktivního chloru v roztocích, což se dokázalo následnou jodometrickou titrací. Postupně poškozované vzorky se vložily na 20 minut do studeného 0,1% roztoku methylenové modři a poté se nechaly volně vyprat v litrových kádinkách s vodou. Výsledkem byla viditelná škála odstínů různé intenzity poškozování. Nejvíce poškozovaný vzorek byl nejtmavší, naopak nejméně poškozovaný vzorek nejsvětlejší. Dokázalo se tím tedy, že čím je vzorek více poškozovaný, tím obsahuje více karboxylových skupin, na které se váže methylenová modř. Vzorky se vložily do skeneru, ze kterého se pomocí aplikace ImageJ vypracoval histogram obsahující stupeň vybarvení, tj. kolik vzorek obsahuje barevných bodů.



## 6.1 Spektrofotometrie vzorků

Z poškozených vzorků, které byly obarveny methylenovou modří a poté vyprány, se změnila absorbance methylenové modří. Nejdříve se musely připravit roztoky, které se poté vložily do kyvet ve spektrofotometru. Z každého vzorku se vystříhl čtverec velký přibližně 1,5×1,5 cm. Každý z nich se vložil do samostatné kádinky s 50 ml 0,1% roztoku kyseliny octové s pH 3 a 10 minut se nechal vařit. U samotného vaření se musela hlídat hladina kyseliny, aby se zcela nevyvařila. Methylenová modř se ze vzorku postupně smyla, tím se roztok kyseliny zbarvil do modré barvy. Již po prvním vaření bylo viditelné, že roztok nejpoškozenějšího vzorku je nejtmavší, kdežto nejméně poškozený vzorek společně s nepoškozeným jsou nejsvětlejší. Proces se se vzorkem opakoval do té doby, než se z něho zcela přestala uvolňovat modř. Roztoky se slily do baněk a doplnily se vodou na 50 ml. Každý vzorek se poté přelil do kyvety, která se vložila do spektrofotometru při vlnové délce 665 nm. Z naměřených vzorků bylo jasně poznat, že více poškozený vzorek obsahuje nejvíce molekul modří, což potvrzuje teorii dokazování oxidačního poškození pomocí methylenové modří. Všechny vzorky byly usušeny do konstantní hmotnosti.

Tab. 2 Absorbance vzorků

Vzorky tkaniny 1	Hmotnost vzorku [g]	Koncentrace aktivního chloru [g/l]	Absorbance
<b>1 nejvíce poškozený vzorek</b>	0,050	68,26	0,728
<b>2</b>	0,045	56,38	0,563
<b>3</b>	0,045	42,55	0,176
<b>4</b>	0,039	25,18	0,087
<b>5</b>	0,050	10,46	0,068
<b>6</b>	0,046	6,74	0,054
<b>7</b>	0,054	5,85	0,039
<b>8</b>	0,044	5,50	0,036
<b>9</b>	0,036	3,90	0,021
<b>nepoškozený vzorek</b>	0,044	0	0,017

U každého vzorku se vypočítala koncentrace methylenové modři na substrátu díky kalibrační přímce  $y = 0,2054x + 0,0053$ .

## 6.2 Infračervená spektroskopie

Poškozené vzorky byly také měřeny infračervenou spektroskopií. Jedná se o techniku, při které dochází k identifikaci a charakterizaci anorganických a organických sloučenin. Výstupem je infračervené spektrum. [30]

Technika měří pohlcování infračerveného záření o různé vlnové délce. Ta se nachází v intervalu od  $13000\text{ cm}^{-1}$  do  $10\text{ cm}^{-1}$ , přičemž nejpoužívanější je střední oblast o hodnotách  $4000$  až  $200\text{ cm}^{-1}$ . Při průchodu vzorkem dochází k absorpci infračerveného záření, které způsobuje změny rotačně vibračních energetických stavů molekuly. Výsledné infračervené spektrum vyobrazuje funkční závislost energie, nejčastěji vyjadřované v procentech transmitance nebo jednotkách absorbance na vlnové délce dopadajícího záření. Pomocí programů a digitalizovaných knihoven lze rozpoznat neznámou analyzovanou látku ve vzorku. V dnešní době lze již analyzovat i pevné vzorky. Nejčastěji jsou vzorky rozpustné v běžných rozpouštědlech a změřeny v kyvetách určených pro vzorky kapalné. Další možností je mletí vzorků ve vibračním mlýnku či příprava tenkého filmu ze vzorku. [30]



Obrázek 15 IČ spektrometr Vertex Bruker 80v [31]

## 7 Zkouška pomocí měďného čísla

Práce se v experimentální části zaměřila také na metodu stanovení měďného čísla. Tato metoda se využívá jak k hydrolytickému, tak oxidačnímu poškození. Aldehydicke skupiny, které jsou častěji obsažené v hydrocelulóze působí snadno redukčně a reakcí s kyslíkem zoxidují na skupiny karboxylové, které jsou typické pro poškození oxidační – oxycelulózu. Při experimentu se použily opět tkanina 1 a tkanina 4. Metoda byla provedena opakovaně na deseti vzorcích každé z nich, přičemž vždy jeden z nich byl nepoškozený.

Vzorky byly poškozeny v Petriho miskách chlornanem sodným po dobu jedné minuty. První vzorek byl poškozen koncentrovaným chlornanem sodným. Druhý vzorek byl již poškozován v chlornanu, který byl zředěn vodou. S každým dalším vzorkem se snižovala koncentrace chlornanu. Každý vzorek byl po poškození přesně zvážen a ponechal se ve chlornanu po dobu jedné minuty. Poté byl usušen při 105 °C.

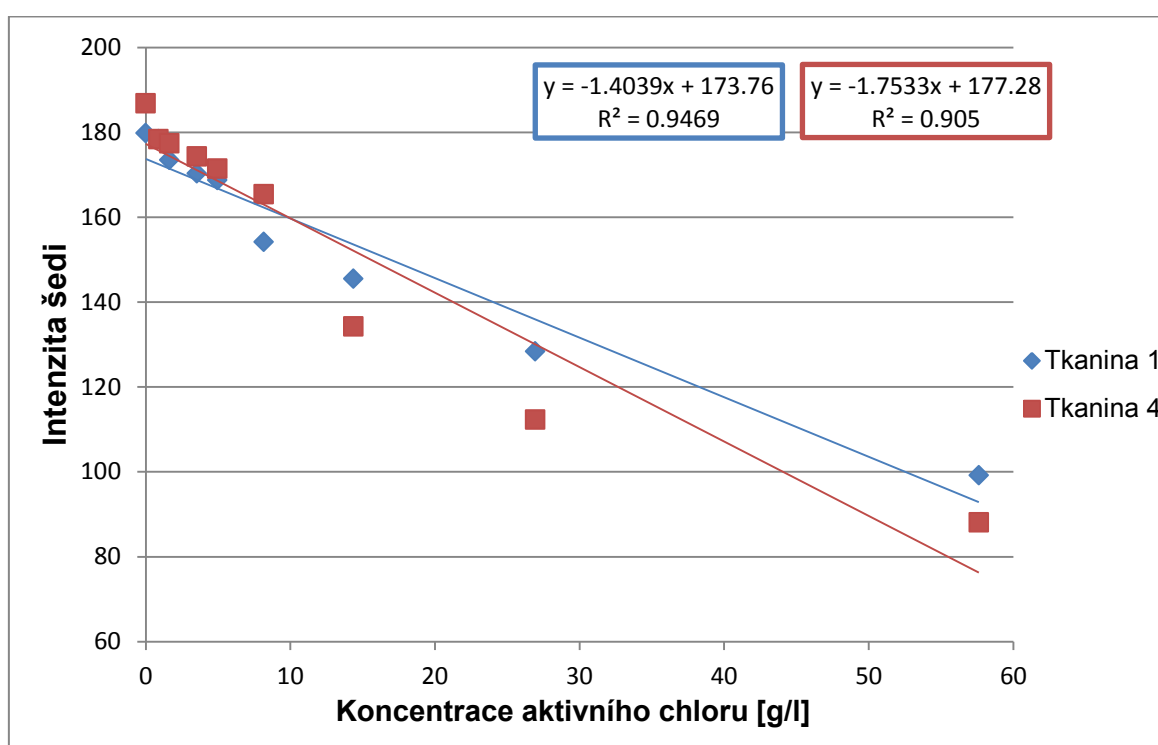
Tab. 3 Podíl aktivního chloru u poškozených vzorků

Vzorky	Hmotnost [g] – tkanina 1	Hmotnost [g] – tkanina 4	Koncentrace aktivního chloru [g/l]
<b>1 nejvíce poškozený vzorek</b>	0,941	0,861	68,26
<b>2</b>	1,076	0,775	56,38
<b>3</b>	1,062	0,755	42,55
<b>4</b>	1,045	0,786	25,18
<b>5</b>	1,048	0,850	10,46
<b>6</b>	0,995	0,757	5,85
<b>7</b>	0,973	0,797	5,50
<b>8</b>	1,008	0,871	6,74
<b>9</b>	1,085	1,028	3,90
<b>nepoškozený vzorek</b>	1,107	0,826	0

Dalším krokem měření je příprava samotných roztoků. Vzorky se vloží na 3 minuty do vroucího Fehlingova roztoku. Ten se připraví smícháním 40 ml Fehlingova roztoku I a 40 ml Fehlingova roztoku II. První se skládá z 60 g síranu měďnatého, který se rozpustí v destilované vodě a doplní na 1 litr. Druhý roztok se připraví z 200 g vinanu sodnodraselného a 100 g hydroxidu sodného, které se opět rozpustí v destilované vodě a doplní na 1 litr. Do objemu o 80 ml se při varu vloží vzorek. Již při varu lze zpozorovat červenohnědé zbarvení více poškozených vzorků, které je způsobeno vyredukováním oxidu měďného. Po vyndání z lázně se vzorek promyje horkou a studenou vodou. Vloží se do čisté kádinky a převrství se 25 ml kyselého roztoku, který se skládá z 50 g síranu železitého a 200 g kyseliny sírové, rozpuštěných v destilované vodě a doplněných na 1 litr. Ponechá se působit do doby, než vyredukovaný oxid měďný rozpustí. Poté se vše přelije skrz filtrační nálevku do baňky a promyje 15 ml horké a poté studené vody. Veškerá kapalina se zachycuje do baňky. Posledním krokem je titrace, díky které se zjistí spotřeba manganistanu draselného, potřebného k výpočtu měďného čísla. Titruje se 0,02M roztokem manganistanu draselného do té doby, než dojde k trvalému růžovému zbarvení. Měďné číslo se poté vypočítá pomocí vzorce uvedeného v podkapitole 3.1.

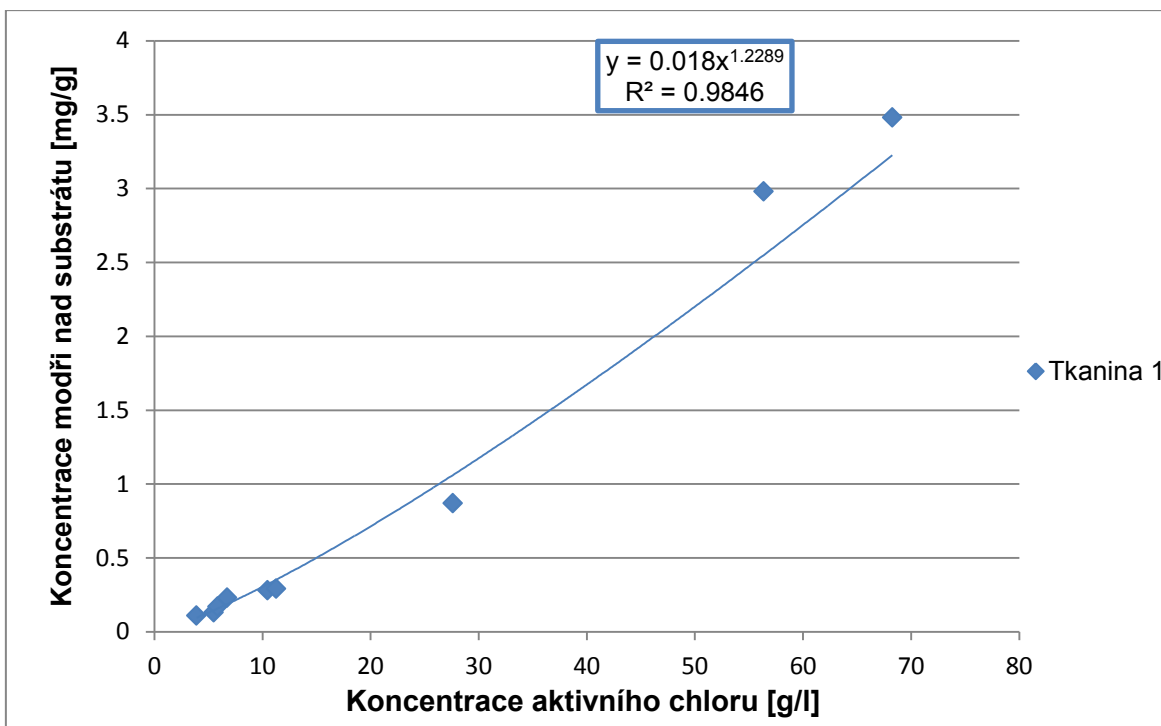
## 8 Výsledky

Metoda methylenové modři byla vyhodnocena dvěma metodami. První z nich bylo skenování vzorků, ze kterého se pomocí aplikace ImageJ vypracoval histogram obsahující stupeň vybarvení, tj. kolik vzorek obsahuje barevných bodů. Histogram se pohybuje v intervalu od 0 do 255 bodů, přičemž znamená, že hodnota 0 představuje naprosto černý vzorek a hodnota 255 naopak vzorek bílý. Graf vyjadřuje závislost mezi koncentrací aktivního chlornanu při poškozování vzorků a intenzitou šedi vzorků ze skeneru. Graf potvrzuje, že čím je vzorek poškozenější, tím nabývá jeho intenzita šedi menších hodnot, tzn. vzorek je tmavší. Graf zobrazuje výsledky dvou tkanin pro lepší porovnání výsledků.



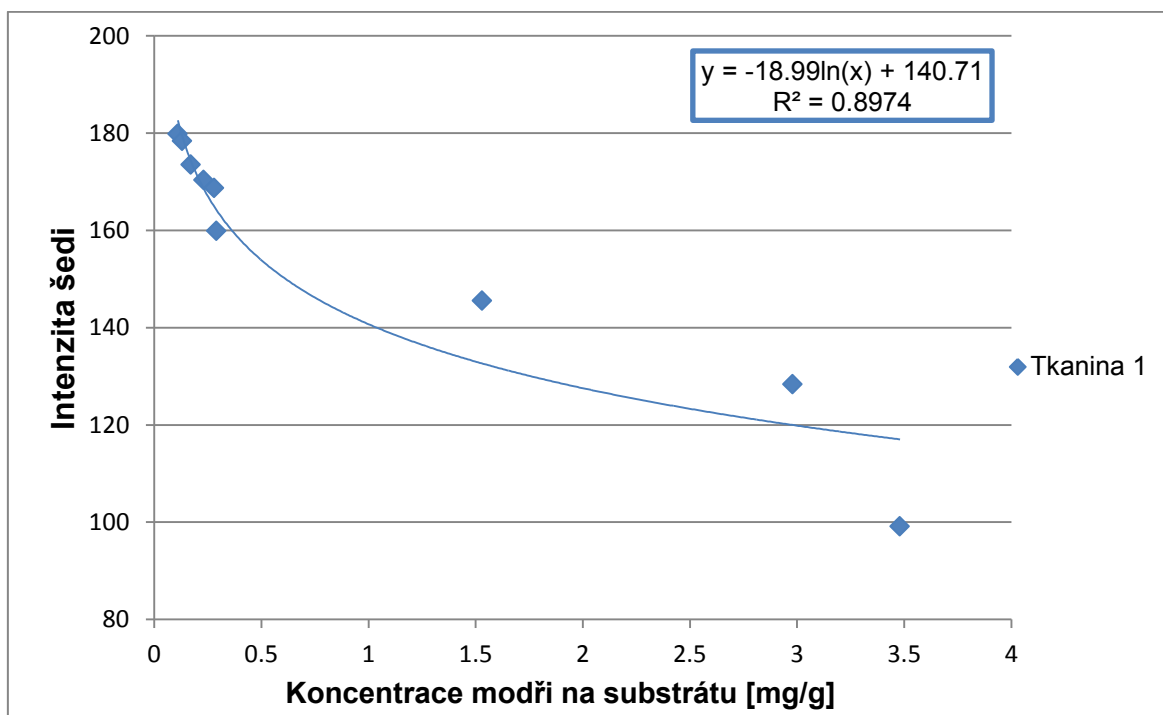
Obrázek 16 Závislost mezi koncentrací aktivního chloru a intenzitou šedi

Druhým způsobem ověření metody methylenové modři byl výpočet koncentrace modři na substrátech. Zkouška probíhala ve spektrofotometru na základě měření koncentrace modři v roztoku díky změření absorpance světla. Graf ukazuje, že čím poškozenější vzorek (čím je větší koncentrace aktivního chloru), tím více obsahuje methylenové modři. Znamená to tedy, že více poškozené vzorky obsahují více navázaného barviva. To opět dokazuje, že metoda methylenové modři při dokazování oxidačního poškození, je jedna z dostupných a spolehlivých metod tohoto výzkumu.



Obrázek 17 Závislost koncentrace aktivního chloru a koncentrace modří na substrátu

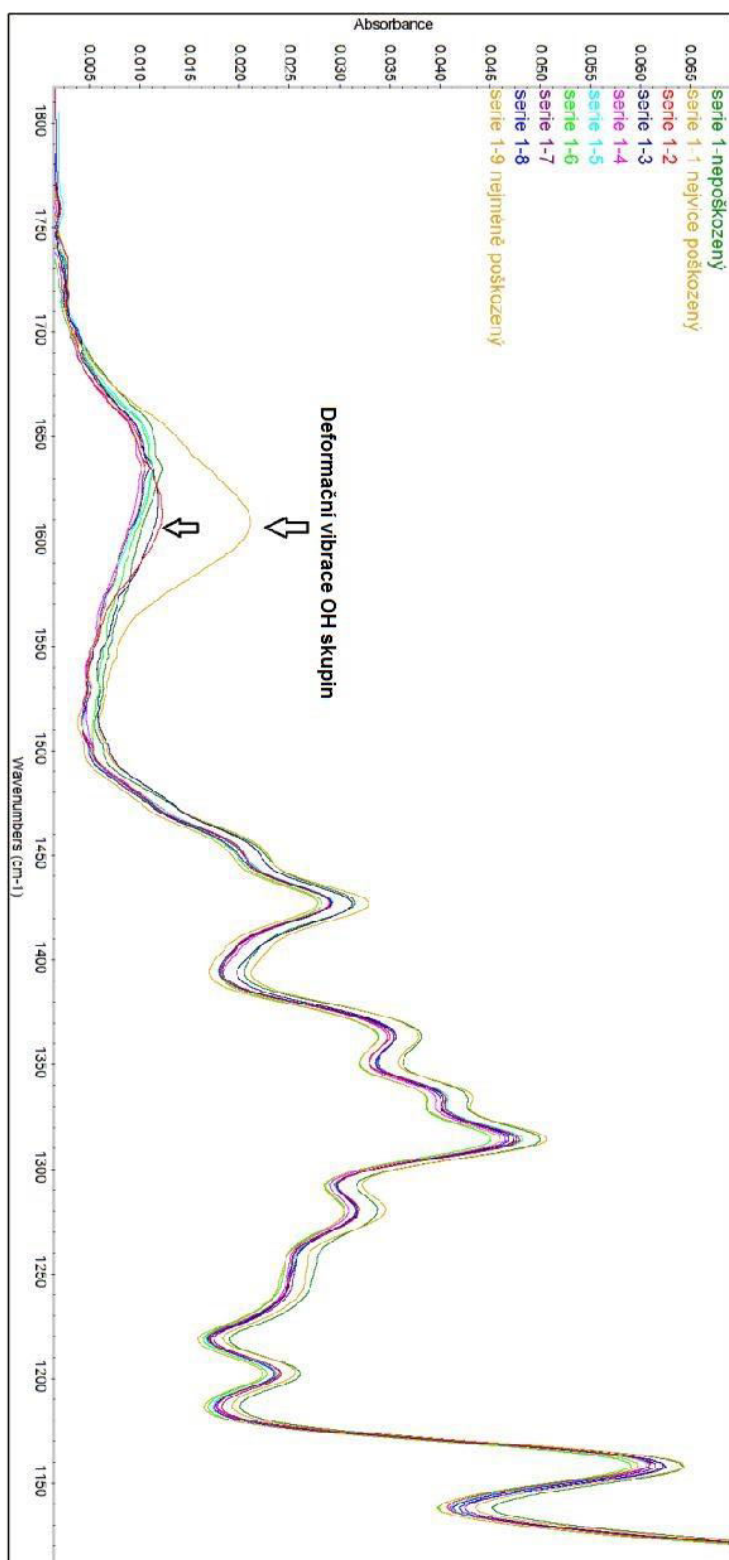
Pro srovnání byla porovnána koncentrace modří na substrátu s intenzitou šedi vzorku u tkaniny 1. Výsledek opět říká, že čím obsahuje vzorek více modří, tím klesá jeho intenzita šedi (tím je tmavší).



Obrázek 18 Závislost mezi koncentrací modří na substrátu a intenzity šedi

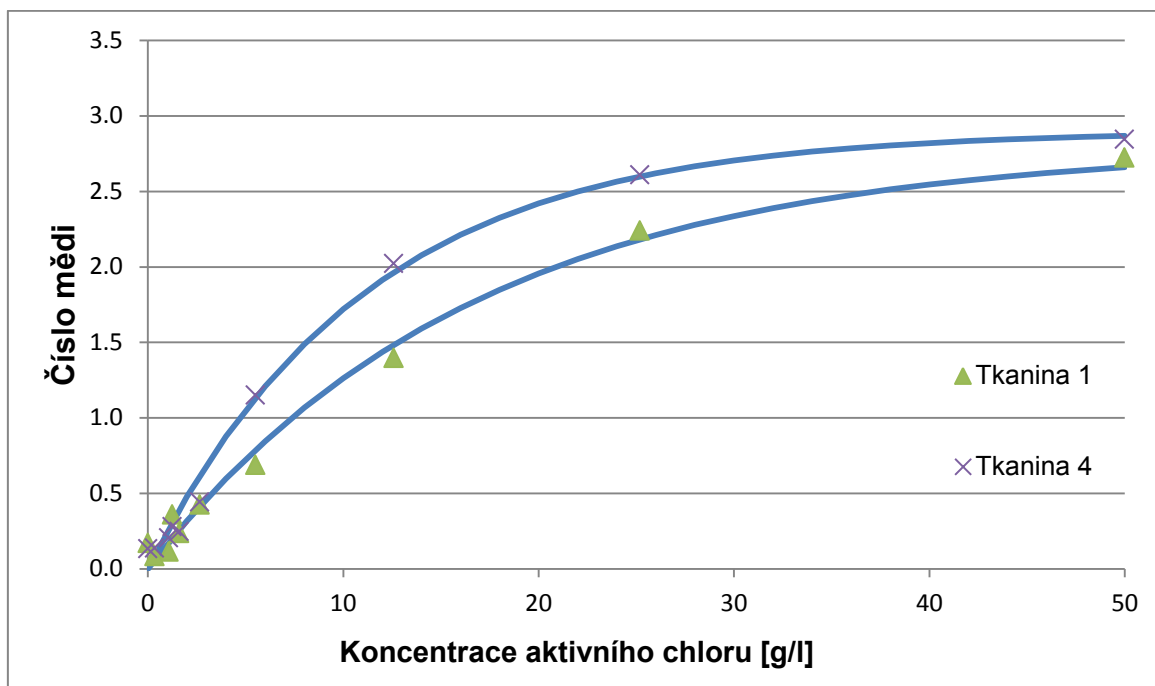
Vzorek tkaniny 1 byl změřen infračervenou spektroskopií. Tato metoda dokáže identifikovat a charakterizovat organické a anorganické sloučeniny na vzorku. V tomto

případě zkoumala deformační vibrace OH skupin. Poškození bylo znatelné pouze u nejvíce poškozeného vzorku. U ostatních byly naměřené hodnoty zanedbatelné. Důsledkem toho není tato metoda ověřování poškození celulózy tou nejvhodnější.

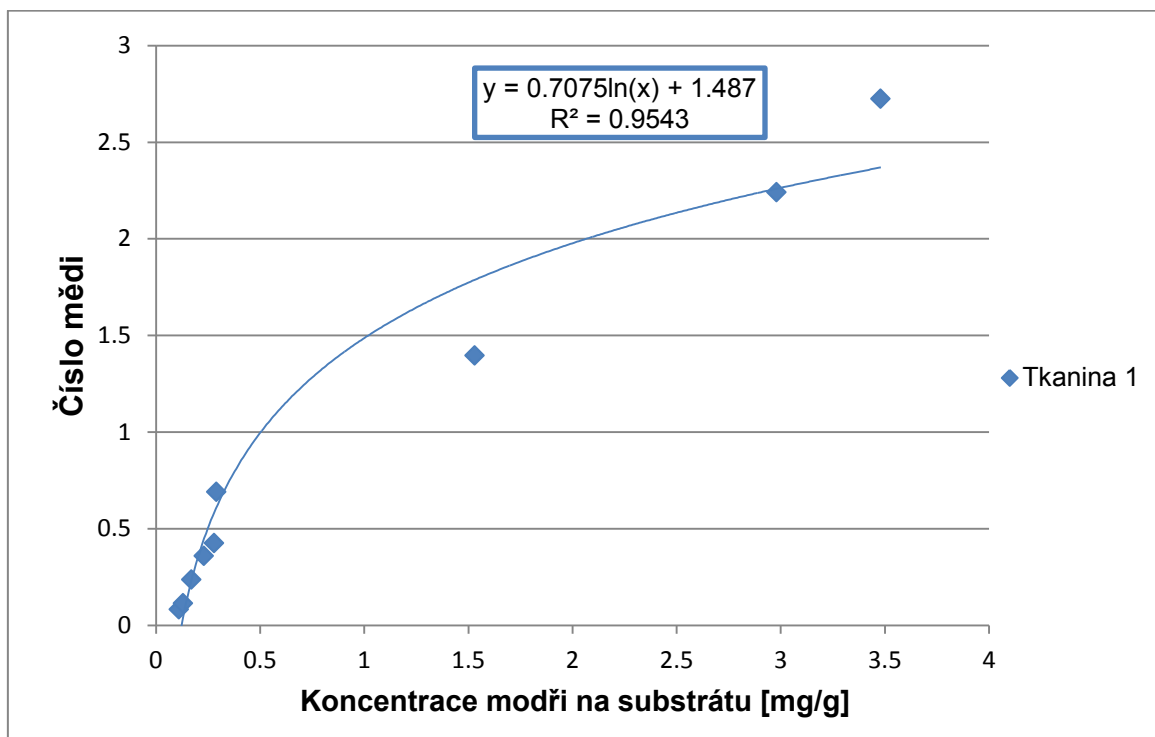


Obrázek 19 Výsledky infračervené spektroskopie tkaniny 1

Metoda mědného čísla je dalším ze způsobů ověřování oxidačního poškození bavlny. Výsledky poukazují na zvyšování hodnot mědného čísla při rostoucím poškození bavlněných vzorků. Metoda byla tedy opět úspěšná jako u metody methylenové modři, jak dokazující následující grafy. První graf zobrazuje výsledky dvou tkanin pro lepší porovnání výsledků stejně jako u metody methylenové modři. Mědné číslo bylo také porovnáno s koncentrací modři na substrátu.



Obrázek 20 Závislost mezi koncentrací aktivního chloru a číslem mědi



Obrázek 21 Závislost mezi koncentrací modři na substrátu a číslem mědi



## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vyvinout optimalizovanou metodu poškozování bavlny oxidačními činidly z důvodů vzniku oxycelulózy. Dalším z cílů bylo ověřit přítomnost oxycelulózy pomocí snadno dostupných metod, jako jsou metody methylenové modři a měďného čísla.

Teoretická část se zabývala strukturou, chemickou podstatou, významem celulózy a bavlnou včetně jejího hydrolytického a oxidačního poškozování.

Experimentální část pracovala se 100% bavlněnými vzorky tkanin, které byly poškozovány chlornanem sodným. První část se zabývala optimalizací poškozování vzorků, ze které nejlépe vyšlo poškozování v Petriho miskách, v nichž se řada vzorků poškozovala po dobu jedné minuty v koncentrovaném chlornanu sodném, přičemž u každého dalšího vzorku se hodnota koncentrace chlornanu snižovala. Poškozené vzorky se poté usušily při 105 °C.

Druhá část se již zabývala ověřováním oxycelulózy pomocí dostupných metod, jako metoda methylenové modři a měďného čísla. Přítomnost oxycelulózy se dokazovala také metodou infračervené spektroskopie, která u vzorků zkoumala deformační vibrace OH skupin. Poškození bylo znatelné pouze u nejméně poškozeného vzorku, přičemž u ostatních byly naměřené hodnoty zanedbatelné. Důsledkem toho není tato metoda ověřování poškození celulózy tou nejvhodnější.

Z výsledků lze vyvodit přímou závislost mezi oxidačním poškozením bavlny a koncentrací methylenové modři či číslem mědi. Bylo dokázáno, že čím je vzorek více poškozený, tím obsahuje více karboxylových skupin, které jsou důkazem oxidačního poškození. Přítomnost karboxylových skupin, tudíž přítomnost oxycelulózy, dokázala metoda sorpce methylenové modři. Z výsledků měďného čísla lze vyvodit, že při poškození vznikají aldehydické skupiny, které se při určité hodnotě poškození nasatí a následnou oxidací se přemění již na skupiny karboxylové. Aldehydické skupiny tudíž vznikají při nižším poškození bavlny, poté již neroste jejich počet, ale zůstává konstantní. Při vyšším poškození se již aldehydické skupiny přeměňují na skupiny karboxylové, jejichž počet nadále stoupá v závislosti na intenzitě poškození.

## Seznam citací

- [1] NIKITIN, V. M.: Chémia dreva a celulózy. Přeložil J. Farkaš. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1956. ISBN neznámé
- [2] ELUC. Chemie. Papír. Chemické složení papíru. In: <https://eluc.kr-olomoucky.cz>. [online]. © 2014 [vid. 2018-9-18]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2540>
- [3] Leporelo info. Celulosa. In: <https://leporelo.info/encyklopedie-1>. [online]. © 2018 [vid. 18. 9. 2018]. Dostupné z: <https://leporelo.info/celulosa>
- [4] FUČÍK, F.: Bavlna a jiná vlákna se semen. Brno: Textilní ústav československý, 1949. ISBN neznámé
- [5] POSPÍŠIL, Z a kol.: Příručka textilního odborníka. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1981. ISBN neznámé
- [6] Celostní medicína. Informační server o zdraví. Lignin. In: <https://www.celostnimediceina.cz>. [online]. © 1. 2. 2012. [vid. 18. 9. 2018]. Dostupné z: <https://www.celostnimediceina.cz/lignin.htm>
- [7] POKORNÁ M.: Biologie I. 4. Přednáška. Buňka. Struktura, nemembránované útvary. In: <https://docplayer.cz>. [online]. © 2017 [vid. 20. 9. 2018]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/41881861-Biologie-i-4-prednaska-bunka-struktura-nemembranove-utvary.html>
- [8] HAMMERBAUEROVÁ I. Využití celulózy a hemicelulózy jako zdroje energie symbiotickými prvky a dalšími organismy. Praha, 2017. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Vedoucí práce Jan Tachezy.
- [9] MEZI STROMY. [online]. © 2018 [vid. 22. 9. 2018]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/>
- [10] Eko plasty. Ekologické produkty z celulózy. In: <https://www.eko-plasty.cz>. [online]. ©2018 [vid. 22. 9. 2018]. Dostupné z: <https://www.eko-plasty.cz/produkty-z-celulozy/>
- [11] TAUBER, A.: Královna bavlna. Praha: Nakladatelství politické literatury, 1966. ISBN neznámé

- [12] Herbář Wendys. *Gossypium herbaceum* - Bavlík bylinný. In: <http://botanika.wendys.cz>. [online]. © 2018 [vid. 25. 9. 2018]. Dostupné z: <http://botanika.wendys.cz/index.php/19-fr-polivka-uzitkove-a-pametihodne-rostliny-cizich-zemi/1206-bavlnik-bylinny-gossypium-herbaceum>
- [13] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Textilní zbožíznalství 1 – 3. přednáška. *Vlákna rostlinného původu*. Liberec: TUL
- [14] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Textilní vlákna – 6. přednáška. *Rostlinná vlákna*. Liberec: TUL
- [15] WIENER, J., PRŮŠOVÁ, M., KRYŠTŮFEK, J., Chemicko-textilní rozbor. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN neznámé
- [16] MEDKOVÁ K. Antimon v nehořlavé úpravě textilií. Liberec, 2015. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci. Vedoucí práce Mária Průšová.
- [17] GRALINSKI, M.: Chemicko-textilní rozbor. Přeložila E. Lesyková. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1967. ISBN neznámé
- [18] POTTHAS A., ROSENAU T., KOSMA P.: Analysis of Oxidized Functionalities in Cellulose. *Advances In Polymer Science*. In: <https://www.researchgate.net>. [online] © 2006 [vid. 23. 11. 2018]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/225760456>
- [19] Tappi. Copper number of pulp, paper, and paperboard , Test Method T 430 cm-09. In: <https://www.tappi.org/>. [online] © 2018 [vid. 5. 11. 2018]. Dostupné z: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T430.aspx>
- [20] Bajerová M. a spol.: POLOSYNTETICKÉ DERIVÁTY CELULOSY JAKO ZÁKLAD HYDROFILNÍCH GELOVÝCH SYSTÉMŮ. In: <https://www.prolekare.cz>. [online] © 2018 [vid. 5. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-farmacie/2008-2/polosynteticke-derivaty-celulosity-jako-zaklad-hydrofilnich-gelovych-systemu-1196>
- [21] ČSN 80 0600. *Stanovení čísla mědi celulózy v textilních surovinách, polotovarech a výrobcích*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1967.
- [22] Biolib. Spektrofotometrie. In: <https://www.biolib.cz/cz/main/>. [online] © 2018 [vid. 5. 11. 2018]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/glossaryterm/id5330/>

[23] Wikiskripta. Spektrofotometrie. In: <https://www.wikiskripta.eu/>. [online] © 2018 [vid. 5. 11. 2018]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie\\_\(2.\\_LF\\_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_(2._LF_UK))

[24] Chlorito. Chlornan sodný stabilizovaný. In: <https://www.chlorito.cz>. [online] © 2018 [vid. 12. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.chlorito.cz/chlornan-sodny-stabilizovany-5l-8l>

[25] Inchema. Chlornan sodný. In: <https://www.inchema.cz>. [online] © 2018 [vid. 12. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.inchema.cz/produkty/chemikalie/chlornan-sodny.html>

[26] *Chlornan sodný*. Sodné sloučeniny. In: Wikipedie [online]. Editováno 7. 10. 2017 04:54 pm. [vid. 12. 10. 2018]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlornan\\_sodn%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlornan_sodn%C3%BD)

[27] Nunes, A. Claiton. Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and idoine numbers. In: Web of Science [online] © 2018 [vid. 24. 10. 2018]. Dostupné z: [https://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=C4GYq3EWRXC7O47JWK9&page=1&doc=2](https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=C4GYq3EWRXC7O47JWK9&page=1&doc=2)

[28] *Methylenová modř*. Fenothiaziny. In: Wikipedie [online]. Editováno 4. 11. 2018 09:53 am. [vid. 11. 11. 2018]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Methylenov%C3%A1\\_mod%C5%99](https://cs.wikipedia.org/wiki/Methylenov%C3%A1_mod%C5%99)

[29] PAVLIŇÁK D. Modifikace materiálu v různých formách výbojového plazmatu. Brno, 2009. Diplomová práce. Fakulta přírodovědecká Masarykovi univerzity v Brně. Vedoucí práce Milan Alberti.

[30] Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Infračervená spektroskopie. In: <https://www.vscht.cz/>. [online] © 2018 [vid. 11. 11. 2018]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>

[31] ChemPoint. Využití infračervené spektroskopie pro identifikaci archeologických materiálů. In: <http://www.chempoint.cz/>. [online] © 2018 [vid. 27. 11. 2018]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/vyuziti-infracervene-spektroskopie-pro-identifikaci-archeologickych-materialu>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Strukturní vzorec celulózy [3].....	13
Obrázek 2 Buněčná stěna rostlin [7] .....	15

Obrázek 3 Vyobrazení bavlníku západoindického (barbadoského) a stromovitého [12]...	19
Obrázek 4 Průřez bavlněným vláknem [16].....	22
Obrázek 5 Vláknó zralé, nezralé a mrtvé [13] .....	22
Obrázek 6 Příčný řez bavlnou; zralá, nezralá, mrtvá .....	23
Obrázek 7 Celulóza s aldehydickou skupinou [20].....	27
Obrázek 8 Příklady karboxylových skupin v řetězcích celulózy [18] .....	28
Obrázek 9 Schéma spektrofotometru [23].....	30
Obrázek 10 Spektrofotometr .....	31
Obrázek 11 Nerovnoměrně poškozený vzorek.....	35
Obrázek 12 Tkanina na rámečku .....	36
Obrázek 13 Strukturální vzorec methylenové modři [28].....	39
Obrázek 14 Princip barvení oxycelulózy bazickými barvivy [29].....	39
Obrázek 15 IČ spektrometr Vertex Bruker 80v [31].....	42
Obrázek 16 Závislost mezi koncentrací aktivního chloru a intenzitou šedi .....	45
Obrázek 17 Závislost koncentrace aktivního chloru a koncentrace modři na substrátu ....	46
Obrázek 18 Závislost mezi koncentrací modři na substrátu a intenzitou šedi .....	46
Obrázek 19 Výsledky infračervené spektroskopie tkaniny 1 .....	47
Obrázek 20 Závislost mezi koncentrací aktivního chloru a číslem mědi .....	48
Obrázek 21 Závislost mezi koncentrací modři na substrátu a číslem mědi.....	48

## Seznam tabulek

Tab. 1 Podíl aktivního chloru podle data .....	38
Tab. 2 Absorbance vzorků .....	41
Tab. 3 Podíl aktivního chloru u poškozených vzorků.....	43