

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Kristýna Hlobilová

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Metody identifikace textilních materiálů se zaměřením na metodu FTIR-ATR

Kristýna Hlobilová

Bakalářská práce

2019

University of Pardubice

Faculty of chemical technology

Methods of identification of textile materials with focusing on FTIR-ATR
method

Kristýna Hlobilová

Bachelor thesis

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kristýna Hlobilová**
Osobní číslo: **C16117**
Studijní program: **B2829 Anorganické a polymerní materiály**
Studijní obor: **Polymerní materiály a kompozity**
Název tématu: **Metody identifikace textilních materiálů se zaměřením na metodu FTIR-ATR**
Zadávající 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. Formální stránka bakalářské práce by měla obsahovat:
stručnou anotaci, obsah, úvod do dané problematiky, aktuální informace zpracované formou rešerše, v závěru vlastní hodnocení, seznam literatury, seznam používaných zkratk (dle potřeby), strukturní vzorce citovaných polymerů, schémata, tabulky
2. Doporučení pro literární rešerši:
 - Textilních materiály, rozdělení, stručná charakteristika, směsné textilní materiály
 - Metody identifikace textilních materiálů, laboratorní i instrumentální, rozdělení a stručná charakteristika, zvláštní pozornost věnovat metodě FTIR-ATR
3. Doporučení pro experimentální část bakalářské práce:
 - Na vzorcích známých textilních materiálů provést identifikaci standardními laboratorními technikami i s využitím metody FTIR-ATR.
 - Získané výsledky diskutujte. V závěru zhodnoťte vhodnost využití metody FTIR-ATR pro identifikaci textilních materiálů

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Černý, Ph.D.

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Jan Honzíček, Ph.D.

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek


Datum zadání bakalářské práce: **21. prosince 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2019**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2019

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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28. 6. 2019

Kristýna Hlobilová

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Michalu Černému, Ph.D, za strávený čas a cenné rady k mé závěrečné práci. Dále Ing. Janu Honzíčkovi, Ph.D za pomoc při zpracování praktické části na spektroskopu a rady při tvorbě závěrečné práce. Velké poděkování patří mé rodině za veškerou podporu v době studia.

ANOTACE

Tato práce je věnována přírodním a syntetickým textilním materiálům. Zabývá se metodikami identifikace vláken, především mikroskopické identifikace, spalování a teplotě tání, jakožto základními laboratorními technikami. Největší důraz v této práci je kladen na analytickou instrumentální metodu FTIR–ATR, která umožňuje stanovení všech typů vlákněných materiálů.

KLÍČOVÁ SLOVA

vlákno, textilní identifikace, FTIR-ATR, mikroskopické stanovení, teplota tání, spalování, infračervená spektroskopie

ANNOTATION

The work deals with natural and synthetic textile fibers. It deals with methodologies of fiber identification, first and foremost microscopic identifications, combustion and melting point as basic laboratory techniques. The greatest emphasis, in this work, is placed on analytical instrumental method FTIR-ATR, which allows determination of all types of fibrous materials.

KEYWORDS

fiber, textile identification, FTIR-ATR, microscopic determination, melting point, combustion, infrared spectroscopy

Obsah

ÚVOD	12
1 TEORETICKÁ ČÁST	13
1.1 Vláknno	13
1.2 Rostlinná vlákna	13
1.2.1 Celulóza	13
1.2.2 Bavlna	15
1.2.3 Konopí	16
1.2.4 Len	16
1.2.5 Deriváty celulózy	17
1.3 Živočišná vlákna	17
1.3.1 Vlna	18
1.3.2 Pravé hedvábí	19
1.3.3 Kašmír	20
1.3.4 Srsti	20
1.4 Syntetická vlákna	21
1.4.1 Polyamidová vlákna	21
1.4.2 Polyesterová vlákno	22
1.4.3 Polyakrylonitrilová vlákna	23
1.4.4 Polypropylenová vlákna	24
1.4.5 Kyselina polymléčná	25
1.5 Minerální vlákna - čedičová	25
1.6 Identifikace textilních materiálů	25
1.6.1 Spalovací zkouška	26
1.6.2 Teplota tání	26
1.6.3 Mikroskopické zkoušky	27
1.7 Infračervená spektroskopie	28

1.7.1	Infračervená spektroskopie – zeslabená totální vnitřní reflexe (ATR).....	29
2	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
2.1	Použité textilní materiály	32
2.2	Použité přístroje	32
2.3	Spalovací zkouška.....	33
2.4	Stanovení teploty tání vlákenných polymerů.....	33
2.5	Mikroskopická zkouška	34
2.6	FTIR-ATR spektroskopie.....	34
3	ZÁVĚREČNÉ VÝSLEDKY A DISKUZE.....	35
3.1	Spalovací zkouška.....	35
3.2	Teploty tání textilních materiálů	36
3.3	Mikroskop	37
3.3.1	Přírodní vlákna.....	37
3.3.2	Živočišná vlákna	39
3.4	Infračervená spektra zkoumaných látek.....	42
3.4.1	Porovnání infračervených spekter vzorků bavlny	42
3.4.2	Porovnání infračervených spekter bavlny a regenerovaných celulóz.....	43
3.4.3	Porovnání infračervených spekter přírodních vláken	45
3.4.4	Porovnání infračervených spekter živočišných vláken.....	46
3.4.5	Infračervené spektrum polypropylenu	48
3.4.6	Porovnání infračervených spekter polyamidů	49
3.4.7	Infračervené spektrum polyakrylonitrilu	50
3.4.8	Porovnání infračervených spekter polyesterů.....	51
3.4.9	Infračervené spektrum kyseliny polymléčné	52
3.4.10	Infračervené spektrum minerálního vlákna (čedičové vlákno).....	53
4	ZÁVĚR.....	54
5	SEZNAM OBRÁZKŮ A ILUSTRACÍ.....	55

6	SEZNAM TABULEK	57
7	SEZNAM LITERATURY.....	58

SEZNAMY ZKRATEK A ZNAČEK

PLA	kyselina polyléčná
PP	polypropylen
PES	polyester
PET	polyethyltereftalát
PA	polyamid
PAN	polyakrylonitril
HEC	hydroxyethylcelulóza
IR spektroskopie	infračervená spektroskopie
ATR	totální vnitřní reflexe

ÚVOD

Metody identifikace textilních vláken se využívají v textilním průmyslu při zkoumání neznámých textilních vzorků, či textilních padělků, dále také ve forenzním odvětví, zejména v kriminalistice při hledání pachatele.

Mezi standardní metody identifikace textilních vláken se řadí mikroskopické měření, spalování a teplota tání. Tyto metody směrodatně identifikují zkoumané vlákno, ovšem jejich nevýhodou je destrukce materiálu.

FTIR-ATR je analytická instrumentální metoda. Výhodou infračervené spektroskopie je nedestruktivnost materiálu a vysoká rychlost samotného měření. Na základě měření vzniká graf závislosti intenzity na vlnočtu, díky jednotlivým pásům lze identifikovat konkrétní typ materiálu. Každé funkční skupině je přiřazen pás, který ji charakterizuje.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Vlákno

Vlákno je tenký dlouhý útvar, elastický a pevný s malým průměrem v příčném řezu. Textilní institut definuje vlákno jako textilní surovinu, která je obecně charakterizována flexibilitou a vysokým poměrem délky a tloušťky. Až do druhé poloviny 20. století spadaly textilní vlákna do rozmezí přibližně 10 – 50 pm v průměru a dlouhé přibližně 1 cm. Hrubší štětiny a monofily, i když byly tkané a pletené nejsou považovány za vlákna. V poslední době jsou zahrnuty jemnější vlákna (délka přibližně 1 dtex¹) zvaná mikrovlákna. Mikrovlákna jsou vyrobená buď modifikací procesu spřádání taveniny, nanovlákna elektro-spřádání. [1, s. 210][2, s. 3-4]

Základní dělení textilních vláken [2, s. 3-4] [3, s. 23]

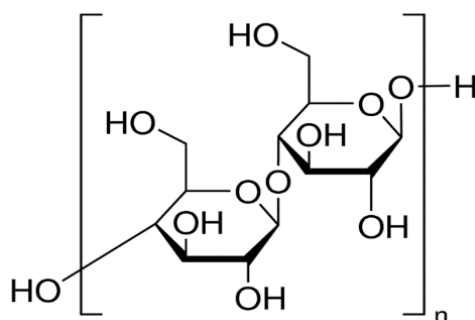
1. Přírodní a regenerovaná vlákna

- Živočišné (bílkovinné) – vlna, kašmír, alpaka, hedvábí apod.
- Rostlinné (celulózové) – produkty zemědělství, vlákna buď lýková (vlákno obklopující dřík rostliny jako například len nebo konopí) nebo vytvořena ze semen (bavlna)

2. Syntetická vlákna

1.2 Rostlinná vlákna

1.2.1 Celulóza



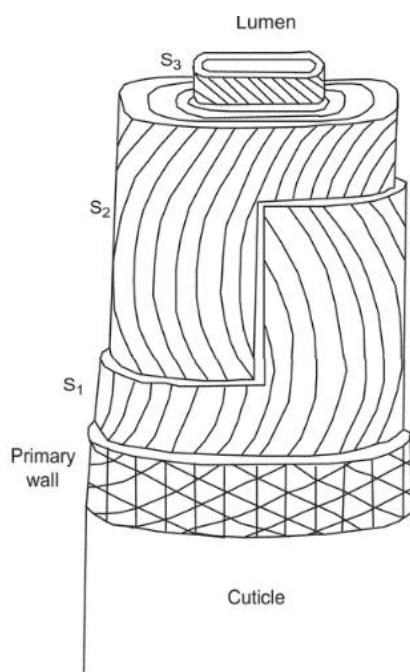
Obrázek 1 Strukturální vzorec celulózy [4]

Celulóza je velmi rozšířená látka. Hlavními producenty celulózy jsou rostliny, z nichž tři část rostliny toto vlákno produkují – osivo, stonek (získání „lýkových vláken“) a list. Druhy

¹ Tex=g/km dtex= g/10 000

rostlin produkující celulózu je celá řada od kopřiv přes keře až po stromy. Fotosyntézou se jí vyrobí velké množství. V průmyslovém pojetí patří mezi základní suroviny. Celulóza se skládá z 44,44% uhlíku, 6,17% vodíku a 49,39 kyslíku. Sumární vzorec je tedy $(C_6H_{10}O_5)_n$ (viz obrázek 1). Celulóza vzniká kondenzací β -D-glukopyranózy, jednotlivé cykly jsou propojeny 1,4- glukosidickými vazbami. [5, s. 25-30]

Celulóza obsahuje hydroxylové skupiny a může tedy tvořit například i estery. Celulóza tvoří svazované shluky molekul, tyto shluky závisí na možnosti vzniku vodíkových můstků. Vodíkové můstky vznikají přiblížením se hydroxylových skupin do určité vzdálenosti. Energie vazeb dvou molekul je různá, závisí na množství míst mezi molekulami, kde vznikají vodíkové vazby. Pokud se v látce nacházejí lineární řetězce, jedná se o velmi pevnou vazbu. Krystalické útvary vznikají z paralelně urovnaných molekul. [6, s. 165-173]



Obrázek 2 Schéma celulózového vlákna [7, s. 28]

Kutikula, jakožto svrchní vrstva vlákna, slouží jako ochranný obal. Pod kutikulou je vrstva fibril celulózy, která je 200 nm široká. Tyto fibrily jsou stočené podél vlákna. Vrstva S2 je složena z fibril, tyto fibrily jsou taktéž stočené podél osy vlákna, stejné složení tvoří i vrstvu S3. V každé vrstvě je specifický úhel stočení fibril (viz obrázek 2). [5, s. 25-30]

Vlastnosti celulózy se různí z důvodu její anizotropie. Celulóza je málo reaktivní, to je dáno strukturou vlákna. Celulóza se rozpouští jen v několika rozpouštědlech, reakce jsou vždy heterogenní. [6, s. 165-173]

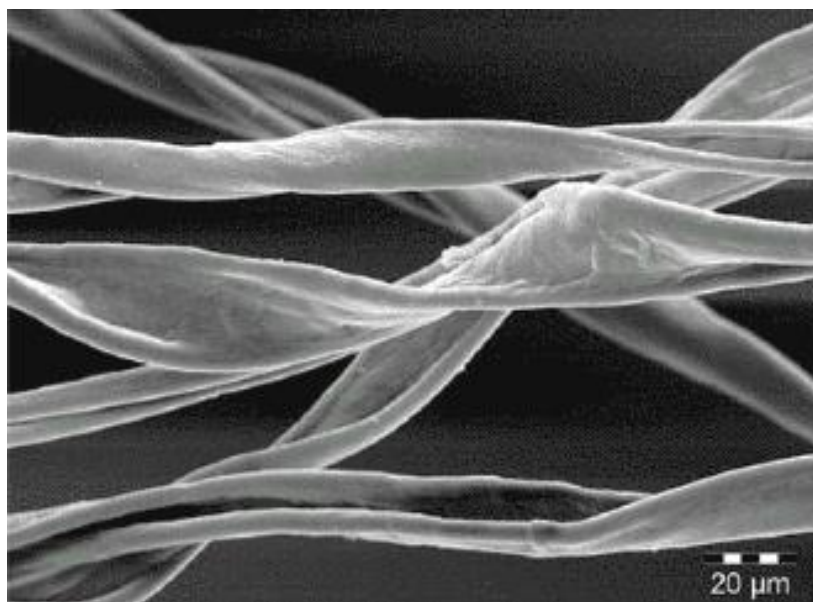
Celulóza, vytváří dlouhý řetězec polymeru, jehož základní stavební jednotkou je glukóza. Celulózová vlákna jsou hydrofilní, díky intermolekulární vodíkové vazbě. Barvení

celulózového vlákna s vodou ředitelnými přímými barvivy jsou řízena difuzním mechanismem s obsahem elektrolytu (soli), přičemž vlákno hraje zásadní roli v míře absorpce barviva. Přímé barviva na celulózových vláknech obvykle vykazují nízkou stálost za mokra a stálost při potu.[6, s. 165-173]

Celulóza je základní surovinou pro výrobu viskóзовých vláken a to xantogenátu celulózy.[8, s. 129]

1.2.2 Bavlna

Bavlna je nejčistší forma celulózy. Bavlna je měkké staplové vlákno, které roste v ochranném pouzdru okolo semene rostlin bavlny. Vlákno se otáčí do příze a využívá se k vytváření měkké textílie, která je schopna výborně pohlcovat vodu.[9, s 8]



Obrázek 3 Podélný průřez bavlny [11, s. 11]

V podélném řezu je bavlna snadno rozpoznatelná díky svému charakteristickému zakroucenému vzhledu (viz obrázek 3). [10, s. 11]

Chemické složení bavlny se liší v několika aspektech např.: podle druhu, sklizně, půdních podmínek apod. Bavlna obsahuje tyto látky: celulóza 94%, protein 1,3%, pektin 1,2%, popel 1,2%, vosky 0,6%, cukry 0,3%, ostatní 1,4%. Jako všechny rostlinné tkáně, bavlna obsahuje malé množství minerálních látek jako například chloridy, uhličitany, fosforečnany draslíku, vápníku a hořčíku. Velké variace jsou pozorovány v množství barvené látky nalezené v bavlně. V bavlně je malé množství přírodních bílkovin. Také se v ní nachází tuky, nejvíce olej z bavlníkového semena (ze syrové bavlny). Syrová bavlna obsahuje 0,5 % voskovité hmoty, která působí jako ochranný povlak na povrchu vlákna. Vosk z bavlny je nerozpustitelný

ve vodě, proto syrovou bavlnu je náročné rozpustit. Je známé, že nebělená bavlna nenasakuje vodu tak jako bělena. Po vyčištění bavlny jsou tyto nečistoty redukovány na 1%. Bavlněná vlákna se při teplotách nad 110 ° C změni na žlutou. Vlákna nebývají poškozena slunečním zářením, ovšem při vystavení dlouhodobému působení světla dochází k postupné ztrátě pevnosti. Rozpouští se v koncentrovaných kyselinách, mají vynikající vlastnosti odolnosti vůči zásadám. Při mnoha procesech se bavlna mísí s jinými vlákny, z důvodu zlepšení vlastností materiálu, zejména pevnosti. Nejčastěji se bavlna mísí s polyesterem a viskózou. Dochází ke zlepšení síly a nasákavosti. Toto zlepšení se nejvíce využívá pro hygienické výrobky, jako jsou obvazy a tampony. Díky nízké tepelné vodivosti je tedy ideální materiálem pro oblečení ve všech ročních obdobích. V létě brání pokožku před teplem a v zimě zachovává teplotu těla. [12, s. 10]

1.2.3 Konopí

Konopí je produkováno rostlinou z řádu *Cannabis sativa*. Z kmene rostliny je získáno lýkové vlákno - konopí. Je tvořeno 77,9 % celulózy, 6,6 % vody, 6,1 % hemicelulózy, 2,7 % bílkovin, 1,7 % ligninu, 1,5 % vosků, 1,4 % pektinů a 1,2 % popela. Vlákna jsou dlouhá průměrně okolo 15 mm, nejsou příliš roztažná a tažná. Vyniká dobrou odolností proti slunečnímu záření, při dlouhodobému působení světla je stabilita vlákn postupně oslabována. Přítomnost ligninu způsobuje drsnější povrch v porovnání s bavlnou. Hlavní využití konopí spočívá v oděvním průmyslu. Konopné vlákno je proslulé svou odolností, savostí a velmi dobrou odolností proti UV záření. Další využití se nachází při výrobě kompozitů, izolačních materiálu a stavebnictví (výroba cihel). [13, s. 54-55]

1.2.4 Len

Lněná vlákna se získávají z kmene rostliny (druhu *Linum usitatissimum*), jejíž výška se pohybuje od 90 do 130 cm. Tyto vlákna jsou obklopená buněčnou tkání, vosky a pektiny, které je vážou na dřevné centrum. Centrum dává stonku svou mechanickou pevnost. Lněná vlákna nejsou čistá jako bavlna, obsah celulózy se pohybuje okolo 60%. Kromě toho obsahují další látky, jako jsou hemicelulózy a lignin dále také bílkoviny, vosky, pektiny. Vlákno se vyznačuje svou pevností, která vyniká i za mokra. Pokud je vlákno hladké a lesklé, jedná se o vlákno zralé. [14, s. 49-52][15, s. 194-195].

1.2.5 Deriváty celulózy

1.2.5.1 Regenerovaná celulóza – viskóza

Výrobu viskózových vláken lze popsat reakcí alkalické celulózy se sirouhlíkem. Nejdříve je provedena mercerace, tedy máčení připravené celulózy z dřevné hmoty v 18% roztoku NaOH, doba máčení je přibližně 1 hodina. Výroba pokračuje odstraněním přebytku NaOH a hemicelulózy. Po několika ti dnech ponechání se reakcí se sirouhlíkem převede na xantogenát celulózy. Takto připravený roztok se vpraví do trysky a následně do zvláknovací lázně. Lázeň se skládá z roztoku kyseliny sírové a síranů. Tuhnutí příze probíhá v lázni. Pravidelná orientace vláken se provádí dloužením vlákna. Spřádaná vlákna se dále upravují zejména v důsledku odstranění nečistot, zvýšení lesku a zlepšení třecích vlastností. Tato úprava zahrnuje zejména mytí, bělení a nanášení dalších povlaků. Viskóza našla uplatnění v textilním průmyslu (viskózové hedvábí a viskózová střiž), automobilovém průmyslu (výroba kordů do pneumatik) a jako celofán – viskózové fólie. [16, s. 166]

V porovnání s čistou celulózou má viskóza nižší molekulovou hmotnost, to se projevuje zejména nižší pevností ve srovnání například s bavlnou. Ve vodném prostředí vysoce bobtná a průměr vlákna se zvýší cca o 35-40 %. Viskózová vlákna jsou využívána zejména v textilním průmyslu díky svému lesklému a hladkému povrchu. [17, s. 118-139]

1.2.5.2 Acetát celulózy

Výroba spočívá na principu acetylace celulózy. K výrobě byla využita celulóza, která má vysoký podíl α celulózy. Proces počíná bobtnáním vlákna v kyselině octové, dále pokračuje acetylací acetanhydridem za katalýzy kyselinou sírovou ve směsi ledové kyseliny sírové a methylenchloridu. Triacetát, který vzniká, se postupně rozpouští. Produkt se separuje destilací a s přídavkem zředěné kyseliny sírové. Zpětné vytvoření vodíkových můstků je triacetát následně částečně hydrolyzován. Zvlákněním z roztoku vzniká acetátové hedvábí. Acetát celulózy má také uplatnění při výrobě plastových výrobků lisostříkem. Užívá se i jako filmová podložka. [16, s. 166]

Acetátová vlákna jsou vlákna termoplastická. Velmi snadno měknou, teplota tání je 230 °C. Vlákno je elastické, na povrchu leklá. [17, s. 118-139]

1.3 Živočišná vlákna

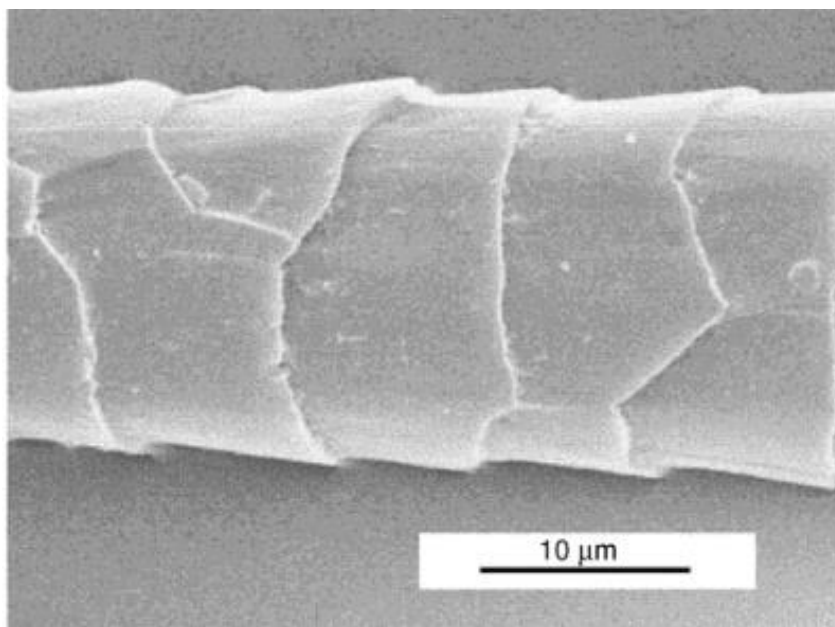
Základním dělením proteinových vláken je rozdělení na přírodní (nativní) a syntetická (regenerovaná) proteinová vlákna. Mezi přírodní vlákna se řadí vlna, srsti a přírodní hedvábí.

Mezi syntetická vlákna se řadí přírodní živočišně nebo rostlinné peptidy rozpuštěné pomocí koagulace.

Vlákna ze zvířat jsou tvořena zejména bílkovinami a dlouhými molekulami, které jsou postaveny z odlišných typů molekul aminokyselin. V živočišných vláknech může být přítomno až 20 různých α -aminokyselin. Poměr a uspořádání těchto různých jednotek určuje strukturu molekuly bílkoviny a povahu samotného proteinu. Tyto bílkoviny jsou tvořeny aminokyselinami, které podléhají kondenzaci přes jejich koncovou aminoskupinu karboxylových skupin. Tímto způsobem vznikají sekundární amidové vazby, čili vazby peptidové. Peptidy jsou označovány ty bílkoviny, ve kterých je 50 a méně aminokyselin. [18, s. 165-173]

Keratin je bílkovina, která je součástí například vlasů, srsti, tedy i vlny. Jednotlivá vlákna tvořené keratinem mají primární skupinu vláknitou. Rozlišují se strukturou sekundární. Vlna jakožto hlavní představitel skupiny α -keratinu má vlákno zakroucené do tvaru šroubu. Fibroin, který je hlavní součástí pravého hedvábí, jehož hlavní složka β keratin, jenž připomíná skládaný list. [19, s. 135]

1.3.1 Vlna



Obrázek 4 Podélný průřez vlákna vlny [20, s. 179]

Vlna se skládá z α -keratinu, tento biologický polymer obsahuje α helikální konformaci, z důvodu vyššího obsahu síry. Síru lze nalézt v cystinu. Vlněná vlákna jsou tvořena přibližně 170 druhy různých proteinů, jejich konstrukční jednotkou jsou aminokyseliny.

Aminokyselin se ve vlně objevuje přes 20 druhů. Jejích obecný vzorec $\text{NH}_2\text{CH}(\text{R})\text{COOH}$, R zde určuje postranní řetězec aminokyselin. [21, s. 51-52][22, s. 368]

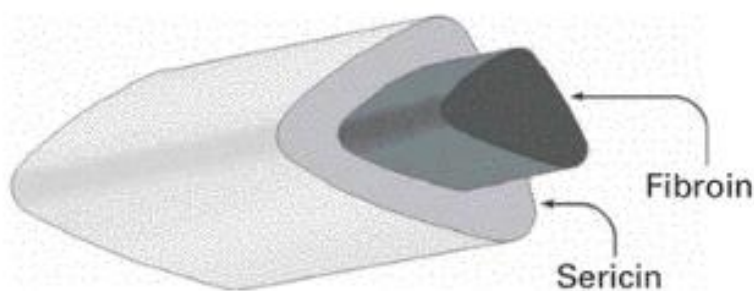
Struktura vlny se skládá ze dvou částí. Vnější vrstvy kutikuly a hlavního těla kortexu. Zevnějšek vlákna tvoří malé nahodilé šupinky (viz obrázek 4), tyto šupinky jsou široké 30-50 μm a dlouhé 16 μm [21, s. 51-52]

Vlna je vlákno získáváno nejčastěji z ovcí. Ovce jsou stříhány dvakrát ročně pomocí stříhacího stroje. Získaná surová vlna se nazývá rouno. Rouno je často kontaminované nečistotami, odstranění se provádí během čištění vlny. Druhy ovcí a podmínky prostředí, ve kterém se nachází, často ovlivňují kvalitu vlny. Vlna se liší dle jemnosti, délky a také z jaké části těla ovce byla vlna odstříhnutá. [21, s. 51-52]

Vlna je přirozeně elastická a pružná, proto dodává výrobkům z ní vyrobené ojedinělé vlastnosti jako například rychlé vracení materiálu do původního tvaru, trvanlivost materiálu, odolnost proti oděru apod. Vlna dokáže absorbovat až 30% své hmotnosti aniž by působila vlhce. Vlákna jsou samozhášecí, jakmile se vlákno odebráno z plamene vlněné uhlíky nehoří. [23, s. 14-15]

1.3.2 Pravé hedvábí

Pravé hedvábí je přírodní bílkovinné vlákno. Vlákno tvoří larvy různých pavouků a hmyzu. Nejpoužívanější vlákna jsou produkovány larvami *Bource morušového*.



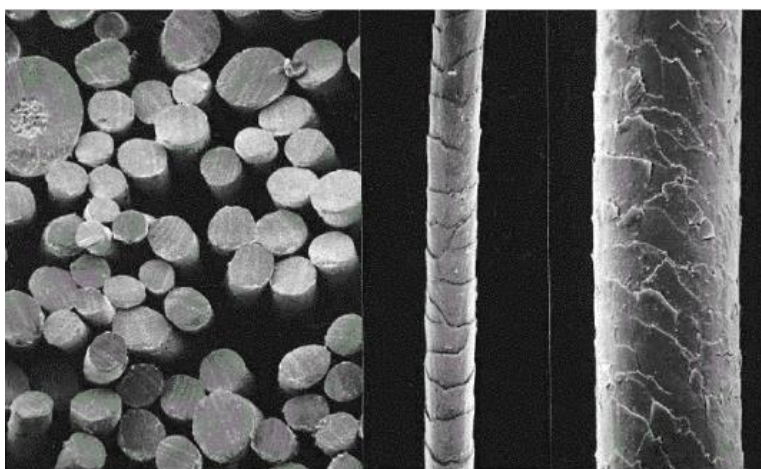
Obrázek 5 Skladba vlákna pravého hedvábí [25, s. 51]

Toto živočišné vlákno a jeho aminokyselinové složení se podobají lidské pokožce. Pravé hedvábí se skládá se dvou proteinových skupin, fibroin a sericin (viz obrázek č. 5). Ve fibroinu se tvoří alanin a glycin z 70% celkové kompozice. Zatímco u sericinu tvoří jen asi 15%, hlavní složkou sericinu je aminokyselina serin. Proteiny, tvořící vnější vrstvu sericinu jsou rozpustné v horké vodě, zatímco bílkoviny jsou nerozpustné. [24, s 9-10]

Podélný průřez vlákna je trojúhelníkový. Charakteristické znaky pravého hedvábí jsou vysoká pevnost a prodloužení při přetržení. Vlákno vydrží tepelné namáhání až do 200 °C, teplota skelného přechodu nastává při 175 °C. Vlákna jsou biologicky rozložitelná.[26, s. 53-54] [27, s. 221-222]

Vlákno je rezistentní vůči kyselým a alkalickým rozpouštědlům. Při delším účinku slunečního záření se zmenšuje pevnost vlákna. Při vysokých teplotách žloutne, degraduje při teplotě nad 165 °C. [28, s. 14]

1.3.3 Kašmír



Obrázek 6 Struktura vlákna kašmíru [30, s 139]

Kašmírové kozy, neboli „kozy Tibetu“ jsou zvířata, která produkují kašmír neboli tibetské vlasy. Jejich srst se skládá ze dvou částí a to z hrubé části (ochranný chlup) a jemné části (podsada). Na rozdíl od vlny má kašmír menší délku šupin, jenž je vidno na obrázku číslo 6. Šupiny kašmíru jsou vysoké 0,4 μ m na rozdíl od vlny, jejíž výška je 0,8 μ m. Kašmír je na rozdíl od vlny lesklejší a hladší. Kvalita kašmíru je závislá na tvaru a délce chlupu, tyto vlastnosti jsou důležité pro jeho konečné použití. Je preferovaná vyšší kvalita kašmíru pro pleteniny, kde je měkkost zásadním aspektem. Kvalitu pletací příze určuje délka vlákna, která by měla splňovat délku 40 mm a delší. Dobrá kvalita kašmíru má hlavní využití v oblasti pletenin (šátky dámské spodní prádlo apod.). [29, s. 222-241]

1.3.4 Srsti

Srsti se skládají se ze dvou částí - jemné a husté podsady. Letní a zimní srst se od sebe liší nejen hustotou ale i barvou. [31, s. 169]

Srsti se využívají na výrobu plstí. Tloušťka zbytků bývá nejčastěji okolo 10 mikrometrů, ovšem se v některých případech využívají i vlákna s tloušťkou 100 mikrometrů. Plst' je izolační materiál, nevede zvuk, tyto vlastnosti jsou využívány u strojů jako podložky. Elasticita je daná vláknem, ze kterého je plst' vyroben. Odolává teplotám mrazu až 100 °C, chemicky odolná vůči olejům a organickým rozpouštědlům. [32, s. 6-8]

1.4 Syntetická vlákna

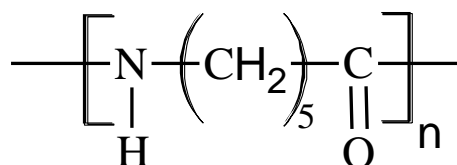
Syntetická vlákna tvoří až polovinu světové produkce textilních vláken, nejen díky své cenové výhodnosti ale i díky spotřebitelským výhodám jako například elasticita, hydroizolace a odolnost vůči skvrnám. Nejběžnější výroba vláken je technologii zvlákněním vlákna z taveniny. [33, s. 158-159]

1.4.1 Polyamidová vlákna

Polyamidová vlákna patří do skupiny syntetických polykondenzátů. V polyamidech se vyskytuje charakteristická funkčních skupin (-NH-CO-). Nejčastěji polyamidová vlákna vznikají z dikarboxylových kyselin a diaminů, aminokarboxylové kyseliny a z laktamů. Obvykle se vyrábějí z taveniny. Průřez vláken je kruhový a povrch je hladký. Polyamidová vlákna se skládají z krystalických i amorfních částí. Polyamidy nejběžněji vyváří krystalicity. [34, s. 241]

Následkem vlivu oxidace je změna barvy a snížení síly polyamidového vlákna. Polyamidová vlákna podléhají hydrolyze nejen přehřátou párou, jejíž teplota se pohybuje okolo 150 °C, ale i silnými kyselinami, jako například kyselinou chlorovodíkovou. [35, s. 159-165]

1.4.1.1 Polyamid 6 (Silon)

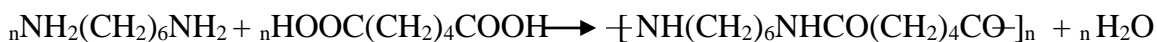


Obrázek 7 Strukturální vzorec polyamidu 6

Polyamid 6 se vyrábí z kaprolaktamu. Při zpracování polyamidu 6 je využit kaprolaktam polymerizovaný hydrolyticky při teplotě 250-270 °C při atmosférickém tlaku. Jako polymerizační iniciátor je používána kyselina. Růstová polymerace je zprostředkována pomocí monofunkčního činidla (kyseliny octové). [35, s. 159-165]

1.4.1.2 Polyamid 66 (Nylon)

Nejpoužívanější polyamidová vlákna jsou polyamidy 66. Výroba polymerací kyseliny adipové a hexamethyldiaminu.

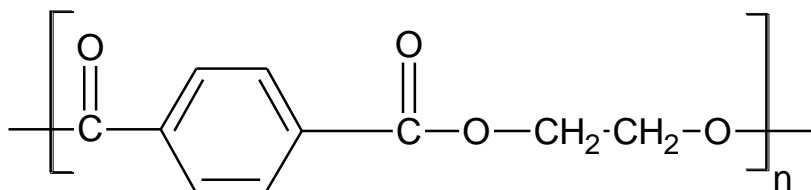


Obrázek 8 polykondenzace za vzniku polyamidu 66

Vznik „nylonové soli“ slouží jako počátek výroby nylonu. Nylonová sůl je tvořena ekvimolárním množstvím kyseliny adipové a hexamethylen diaminu v metanolu. Tato směs byla rozpuštěna ve vodě a přenesena do výparníku. Zde se koncentrace roztoku pohybuje okolo 80%. Následuje propagace, která se provádí přidáním kyseliny ethanové v atmosféře dusíku. [35, s. 159-165]

1.4.2 Polyesterová vlákno

Polyestery jsou polymeru, jejichž monomerní jednotky jsou spojeny esterovou vazbou $-\text{[O-CO]}-$.



Obrázek 9 Strukturální vzorec polyethylentereftalátu

Příprava polyester vychází z reakce diolů s dikarboxylovými kyselinami, resp. jejich methylestery. Průmyslově se připravují nejčastěji z dimethylesteru tereftalové kyseliny a ethylenglykolu, monomerem je tedy bis(2-hydroxyethyl)tereftalát. Při reakci se používají katalyzátory (například kobaltnatá sůl) účinné zejména při polykondenzaci. Vlákna se tvoří pomocí zvláknující trysky v extrudéru, obvyklý průměr polyesterového vlákna je 0,2-0,4 mm. Průměry požadované příze jsou závislé na rychlosti vytlačování. Po vytlačování se vlákno chladí v chladicí komoře, následně jsou vlákna navinuta. [36, s. 169-184]

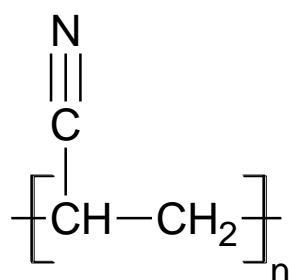
Struktura syntetického vlákna je triklinická. V polyesterech se nachází krystalová část struktury. Krystalická struktura je zapříčiněna aromatickými jádry, které se účastní reakce. K nejdůležitějším polyesterům se řadí polyethylentereftalová vlákna. Další polyesterová vlákna jsou polytrimethyltereftalát, polybutylentereftalát, polyethylenftalát. [36, s. 169-184]

Polyesterová vlákna jsou odolná vůči kyselinám, výjimku tvoří kyseliny při vysoké teplotě. Citlivější jsou však vůči zásadám. Tyto vlákna se rozpouštějí v 3-methylfenolu, kyselině trifluorethanové a 2-chlorfenolu, ale jsou odolná vůči jiným běžným rozpouštědlům. Degradace vláken nastává při cca 300 °C. Jsou odolnější proti slunečnímu záření více než polyamidová vlákna. V textilním průmyslu se polyesterová vlákna mísí s jinými vlákny. Směs s bavlněnými vlákny se používá při výrobě košilí, sukní, šatů apod. Směs polyesteru a vlny se nejčastěji používá v oblecích, šatech a u kalhot. Ze stoprocentního polyethyltereftalátu se vyrábí kravaty. [36, s. 169-184]

Jeden z představitelů polyesterových vláken je Tesil 12. Jeho výhodou je jeho houževnatost, elasticita a vysoká životnost. Za chladu odolává alkáliím, při působení kyselin odolává velmi dobře. Jeho hlavní nevýhodou je tvorba žmolků. Využívá se při výrobě technických a oděvních tkanin. [37, s. 182]

1.4.3 Polyakrylonitrilová vlákna

Akrylová vlákna jsou založena na polyakrylonitrilu, který je vyráběn polymerací akrylonitrilu.



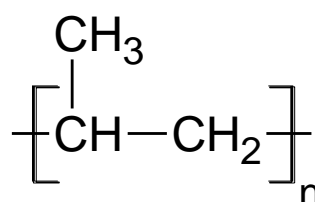
Obrázek 10 Strukturální vzorec polyakrylonitrilu

Polyakrylonitril se vyrábí pomocí srážecí polymerace nebo polymerace z roztoku. Nejvhodnějším iniciátorem, díky kterému započne polymerace je peroxid vodíku, jelikož se díky vyšší teplotě rychle rozkládá na radikál. Polyakrylonitril se zvláknuje nejčastěji za mokra, obvyklá kombinace obsahuje roztok thiokyanátu sodného v polyakrylonitrilu ve kterém se nachází i methylakrylát jako monomer. Patnácti procentní produkce polyakrylonitrilových vláken se vyrábí suchým zvláknováním z roztoku dimethylformamidu s polyakrylonitrilem obsahujícím methylakrylát jako monomer. [38 s. 185-195]

Vlákna mají několik nežádoucích vlastností kvůli přítomnosti akrylonitrilu jako například horší rozpustnost v rozpouštědlech, vysoký bod tání či vysoká teplota skelného přechodu (105 °C). [38, s. 185-195]

Použitými komonomery jsou vinylacetát s methylakrylátem nebo methylmetakrylátem. Látky jsou přidány v poměru okolo 10% vůči akrylonitrilu. Acetátová skupina umožňuje rozpouštění vláken v rozpouštědlech, teplota skelného přechodu se sníží (75-80°C). [38, s. 185-195]

1.4.4 Polypropylenová vlákna



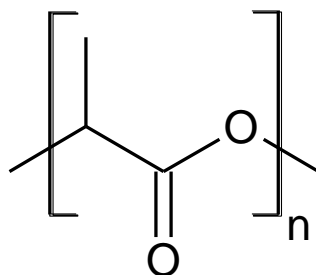
Obrázek 11 Strukturální vzorec polypropylenu

Propen se získává z frakcí ropy a zemního plynu. Je získatelný bez specifické syntézy. Polypropylen se získává pomocí polyinserce za přítomnosti Ziegler – Nattových katalyzátorů. Katalyzátory jsou konstruovány tak, aby podporovali vznik izotaktických řetězců. Technologie pro výrobu vláken se využívá zvláknování z taveniny. Délka vlákna je dána nejen délkou chladicí komory, ale i rychlosti vytlačování. Délka komory dlouhých vláken je 3-10 metrů, krátkých 1 m. Rychlost vytlačování dlouhých vláken je 300-400 m/min⁻¹ a krátkých vláken 100-150 m/min⁻¹. Kvalita krátkých vláken je mnohem nižší než u dlouhých vláken, které jsou vyrobeny dlouhým chlazením. [39, s. 196-207]

Pokud se v systému nenachází kyslík, je polypropylen tepelně odolný do 350 °C. Polypropylen je velmi dobře chemicky rezistentní. Zejména vůči kyselinám, zásadám a některým organickým rozpouštědlům. Při zvýšení teploty reaguje vlákno v organických kyselinách nabobtnáním. Oxiduje se v silných kyselinách a zásadách. [39, s. 196-207]

Díky své nízké ceně našlo polypropylenové vlákno na trhu uplatnění například v kobercových podkladech, pytlích, lanech, zahradnictví, zdravotnických a hygienických výrobcích. [39, s. 196-207]

1.4.5 Kyselina polymléčná



Obrázek 12 Strukturální vzorec kyseliny polymléčné

Kyselina polymléčná je biologicky degradovatelný syntetický polymer. Patří do skupiny termoplastických polyesterů. Vláknem kyseliny polymléčné je vyrobeno ze zemědělských produktů jako například kukuřičný škrob, tapiokový škrob apod. Vznik vláken kyseliny polymléčné se skládá z vícestupňové výroby. Nejprve dochází k fermentaci cukru nacházející se v zemědělských produktech a následně vzniká laktid, tedy cyklický dilaktátový ester. Laktid se převede na kyselinu polymléčnou polykondenzací za použití katalyzátoru. Strukturální vzorec kyseliny polymléčné lze vidět na obrázku číslo 12. [40, s. 151]

Esterová skupina z kyseliny polymléčné je snadno napadnutelná pro mikrobiální enzymy, které na skupině hydrolyzují. Tyto enzymy jsou proteázové z řádu *Bacillus subtilis*. Hydrolyza vláken způsobuje zmenšení velikosti pevnosti v tahu. [40, s. 151]

Na dotyk je vlákno příjemné a jemné. Vyznačuje se významnou elasticitou a nasákavostí vlhkosti. Vlákno v plamenu je samozhášecí, odolává světelné degradaci. Vlákno je odolné vůči kyselinám, neodolává ale zásadám. [41, s. 309-310]

1.5 Minerální vlákna - čedičová

Surovinou pro výrobu vláken je vyvřelý čedič. K dostání je ve formě vaty. Vlákna jsou hladká s kruhovým průřezem. Vyznačují se malou navlhavostí a tažností, vysokou tepelnou a chemickou odolností a antibakteriálním účinkem. Splňují funkci filtračního materiálu díky svým filtračním schopnostem. Čedičová vlákna našla uplatnění v izolacích, v kapalinových a plynových filtrech, jako náhrada azbestu v těsnění, či plnivo do betonu. [42, s. 37]

1.6 Identifikace textilních materiálů

Jednou z nejdůležitějších úloh v kvalitativní části textilní chemie je identifikace textilních vláken. Neexistuje žádný obecně použitelný návod identifikace textilních materiálů, kterým se

textilní analytik musí řídit. Existuje však mnoho způsobů jak identifikovat konkrétní vlákno. Mezi základní metody identifikace vláken patří hodnocení vzhledu, hoření, mikroskopické analýzy, testu rozpustnosti, testu barvení a fyzikální analýzy. [43, s. 319-322]

1.6.1 Spalovací zkouška

Spalovací zkouška je jedna ze základních zkoušek sloužící k identifikaci látek. Zkouška zkoumá chování textilních látek vlivem plamene v závislosti na chemickém složení látky. Tato zkouška je velmi rychlá, lze provést kdekoliv, proto se využívá při prvotní identifikaci neznámé látky. Ovšem zkoušení bývá destruktivní a některé látky mohou způsobovat toxické výpary. [43, s. 319-322]

Tabulka 1 Spalovací zkouška - charakteristické textilních vláken chování v plamenu [44][41]

Druh vlákna	Reakce v plamenu	Barva plamene	Zápach	Zbytek vlákna
VLÁKNO HOŘÍ I PO VYJMUTÍ Z PLAMENE				
Celulózová vlákna	Vzplanutí	Svítivý	Spálený papír	Bílý popel
Acetátová vlákna	Tavení	Svítivý	Kyselý	Uzlovitý
PAN	Tavení	Čadivý	Sladký	Černý, křehký
PP	Tavení	Nečadivý	Parafinový	Černá perla
PET	Tavení	Svítivý	aromatický	Měkne
PA	Tavení	Svítivý	Sladký	Světlá perla
VLÁKNO SE ZHÁŠÍ PO VYJMUTÍ Z PLAMENE				
Bílkovinná vlákna	Vzplanutí	Svítivý (žlutý)	Rohovina	Černý, pórézní
PLA	Tavení			
NEHOŘLAVÉ				
Čedič				

1.6.2 Teplota tání

Teplota tání dopomáhá k identifikaci syntetických vláken. Teplotou tání je definovaná jako jeho hodnota, kdy vlákno přechází z pevného skupenství na kapalné skupenství. Popisuje se pomocí energetické absorpce. Jedná se o rozmezí teplot, kdy k absorpci energie dochází při rozpadu krystalitů v polymeru za zvyšující se teploty. [45, s. 68]

Tabulka 2 Teploty tání daných vláken [46, s. 72][47, s. 263][44]

Typ vlákna	Teplota tání, °C
Polyakrylonitril	225
Triacetát	293
Polypropylen	164-170
Polyamid 6	215
Polyamid 66	250
Polyethyléntereftalat	250-260
Polyvinylchlorid	100-160
Acetát celulózy	255
Kyselina polymléčná	130-160

1.6.3 Mikroskopické zkoušky

Mikroskopické měření lze snadno využít k odlišení rostlinných a živočišných, syntetických a minerálních látek. Rostlinná vlákna mají délku v rozmezí 1-10 mm, syntetická vlákna jsou delší. [48, s. 241]

Mikroskopické měření se nejlépe provádí na světlých odstínech látky nebo na vláknech rezných. Syntetická vlákna je příznivé mikroskopicky sledovat ve formě příčných řezů vláken, jelikož v podélném směru se syntetická vlákna nedají rozeznat. [48, s. 241]

Mikroskopicky se nejpřesněji určují živočišná a rostlinná vlákna. Při měření se klade důraz na výřezy, lumen, křížové značky, přítomnost či nepřítomnost stupnic a mezer, charakter povrchů, podélný tvar a pravidelnost průměrů. K charakterizaci vlákna se využívají různé typy mikroskopie, jako například světelná mikroskopie, stereomikroskopie, skenovací elektronová mikroskopie a infračervená mikrospektroskopie. Světelná mikroskopie poskytuje informaci o tvaru vlákna. Stereomikroskopie podává informace o barvě, lesku a zalomení. Skenovací elektronová mikroskopie umožňuje pozorování povrchů na vysoké úrovni detailů. IR mikrospektroskopie se nejčastěji využívá pomocí fórezní analýzy. [48, s. 241]

Tabulka 3 Mikroskopická charakteristika vláken [49, s. 35][44]

Typ vlákna	Charakteristika vláken
Bavlna	Šroubovitě stočené vlákno Nevyvinutá buněčná stěna s čárkovitým lumenem Konec vlákna tupý, paličkovitý.
Konopí	Vlákno obsahující špatně ohraničený lumen Stěny podél vlákna pruhované Tupý vrchol vlákna Vlákna tvoří kolínka.
Len	Konec vlákna charakterizuje ostrý vrchol Vlákno tvoří kolínka a pruhy podél vlákna.
Vlna	Vlákno pokryto náhodnými šupinkami
Pravé hedvábí	Hladká, pravidelná, válcovitá vlákna
Viskóza	Vlákno bezbarvé Tloušťka vlákna po celé délce stejná Vlákno podélně rýhované
Bílkovinné vlákno	Vlákno podélně slabě rýhované a zjizvené
Polyakrylonitrilové vlákno	Rýhy podél vlákna, slabá rotace vlákna okolo osy
Polyamidové vlákno	Vlákno hladké stejně široké

1.7 Infračervená spektroskopie

Infračervené záření je součástí elektromagnetického spektra, jehož vlnové délky pokrývají rozsah od 0,8 do 1000 μm (12500-10 cm^{-1}). V analytické praxi se obvykle využívá rozmezí vlnových délek 2,5-16 μm (4000-625 cm^{-1}). Infračervená spektroskopie využívá absorpci záření v molekulárním měřítku. Infračervené záření molekul není ustanoveno pouze na částicové povaze záření, ale zejména na vlastnostech vlny. Infračervené záření charakterizováno infračervenými vlnami může být míněno jako procházející molekula, v níž atomy popřípadě funkční skupiny se volně pohybují, ohýbají či vibrují kolem vazeb. Tento pohyb lze přirovnat ke kmitu pružiny. Okolo vazeb kmitají předvídatelným způsobem molekuly, tento pohyb je způsoben elektromagnetickými dipóly v molekule. Tyto dipóly vznikají z atomů různých látek, atomy jsou spojeny pomocí valenčních elektronů uvnitř orbitalů. Pokud je frekvence kmitu vazby shodná s vlnovou délkou dopadajícího záření tak dochází k absorbování záření, díky energii, jež je dána do molekuly dána zářením. [50, s. 339-340]

Typy vibrací:

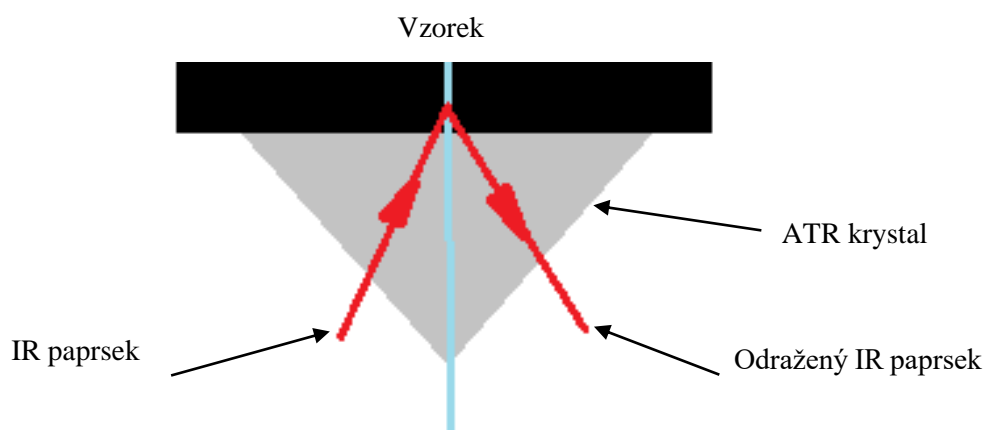
- Valenční vibrace – změna vazebné délky, nedochází ke změně vazebného úhlu, vibrace ve směru vazby okolo rovnovážné polohy

- Deformační vibrace – změna vazebného úhlu, vibrace okolo rovnovážné polohy.

Obě tyto zmíněné vibrace se rozlišují dle polohy k ose symetrie na symetrické a antisymetrické. [51, s. 7]

1.7.1 Infračervená spektroskopie – zeslabená totální vnitřní reflexe (ATR)

Metodou ATR IR spektroskopie lze studovat látky pevné, práškovité, i pastovité. Základní princip metody spočívá v přechodu infračerveného záření ze studované látky do krystalu na základě odlišného indexu lomu látek. Krystal je součástí daného spektrofotometru, který ke stanovení používáme. Velikost odraženého záření se liší v mnoha ohledech včetně úhlu dopadu - se zvyšujícím se úhlem dopadu se zvyšuje i velikost odraženého záření až po dosažení kritického úhlu. V praxi nejčastěji svazek záření prochází méně hustou látkou, toto záření je známé jako evanescentní vlna. Parametry podílející se na velikosti hloubky průchodu evanescentní vlny je vlnová délka, indexy lomu látky a krystalu a úhel dopadu. Hloubka průniku je několik milimetrů. Pokud vzorek absorbuje IR záření, je zobrazen zmenšení intenzity paprsků v IR spektru. Takto se charakterizuje ATR IR spektroskopie.



Obrázek 13 Průchod infračerveného paprsku přes krystal a vzorek

Při instrumentaci jsou nejčastějšími voleny krystaly složené z germania, selenidu zinečnatého, diamantu nebo směsného krystalu thalia/jodidu. Volba krystalu je vybrána s ohledem na jeho kritické vlastnosti a také na vzorkem, jenž se stanovuje. Každý druh krystalu umožňuje specifickou hloubku evanescentní vlny do vzorku [52, s. 358-359]

Na konferenci v americkém Tucsonu, přednášející mluvili o nedestruktivní kvantitativní spektroskopické analýze, a to zejména Romanovu spektroskopii a blízkou infračervenou spektroskopii. Romanovo spektrum podává informaci o molekulární struktuře, blízká

infračervené spektroskopie o kvalitě a kvantitě daného textilního vlákna. Sdružením několika metod a to zmíněných infračervených spektroskopiích, Romanovy spektroskopie a diferenciální skenovací kalorimetrie by bylo umožněno kvalitněji rozpoznat textilní padělky.
[53, s. 1-2]

Tabulka 4 Charakteristika pásů [54] [55]

Absorbující vazba	Přibližný vlnčet (cm ⁻¹)	Intenzita a vzhled píku
Valenční vibrace		
O-H (volná)	3600	Střední
O-H (alkoholy, fenoly) – vázaná intermol. H- mostem	3500-3100	Silná, široký pás
O-H (alkoholy) – vázaná intramol. H- mostem	3400-2500	Silná
N-H (aminy primární)	3500-3000	Střední, zdvojený pás
N-H (aminy sekundární)	3500-3000	Střední
N-H (amidy primární)	3500-3000	Střední, zdvojený pás
N-H (aminy sekundární, laktamy)	3450-3300	Střední
C-H (alkany)	2980-2850	Slabá, zdvojený pás
C-H (alkiny)	3300	Silná
C-H (alkeny)	3100-3000	Slabá
C-H (aromatické)	3050-2950	Velmi slabá
C-H (aldehydické)	2900-2700	Slabý, zdvojený pás
C≡C	2250-2100	Slabá až střední
C≡N	2270-2200	Silná, velmi ostrý pás
C=O (anhydridy)	1850-1800, 1790-1740	Silná
C=O (chloridy kyselin)	1820-1790	Silná
C=O (estery)	1750-1730	Silná
C=O (amidy primární)	1690-1600	Silná
C=O (amidy sekundární)	1700-1670, 1550-1500	Silná
C=O (aldehydy, ketony)	1740-1695	Silná
C=O (ketony cyklické šestičlenné)	1730-1700	Silná
C=O (ketony cyklické pětičlenné)	1750-1740	Silná
C=C (alkeny)	1680-1640	Slabá
C=C (dieny)	1650-1600	Silná, zdvojený pás
C=C (aromáty)	1600-1500	Střední, zdvojený až ztrojený pás
C=N	1700-1620	Střední až silná
NO ₂	1550,1350	Silná
C-O (alkoholy, ethery, estery)	1300-1100	Silná
C-F, C-Cl, C-Br, C-I	1400-400	Střední
Deformační vibrace		
C-H (aromatické sloučeniny)	2000-1650	Slabá
C-H (metylen)	1465	Střední
C-H (methyl)	1450	Střední
C-H	880-700	Silný
C-H (aldehydy)	1390-1380	Střední
O-H (alkoholy)	1420-1330	Střední
C=C	995-665	Silná
N-H (aminy)	165-1580	Střední

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Použité textilní materiály

- Přírodní vlákna celulózová
 - Bavlina
 - Surová bavlna
 - Egyptská bavlna
 - 1,7 dtex bavlna
 - Viskóza
 - Hydroxyethylcelulóza
 - Konopí
 - Len
- Přírodní vlákna živočišná
 - Plsti
 - bílá králičí plst'
 - světle šedá králičí plst'
 - tmavá králičí plst'
 - Srsti
 - Kozí srst
 - Bílá králičí srst nemořená
 - Vlna 3,4 dtex
- Syntetická vlákna
 - PAN
 - PP
 - PA
 - PA6
 - PA66
 - Lilion
 - PLA
 - PET
 - 1,7 dtex
 - Tesil 12
- Minerální vlákno čedičové

2.2 Použité přístroje

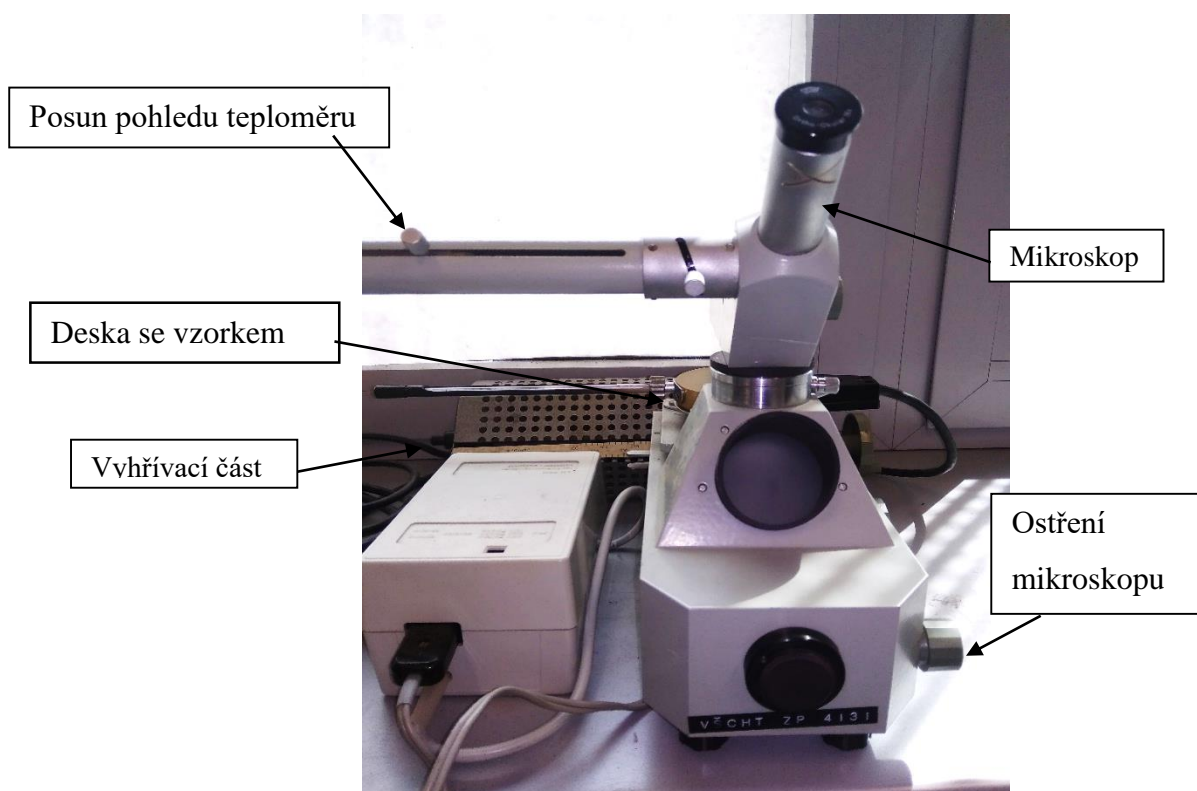
- Nicolet iS50 spectrometr – Firma Thermo Fischer Scientific, (USA)
- Koflerův bodotávek
- Mikroskop NU II Zeiss Jena (NDR)
- Fotoaparát Canon D60 – firma Canon,(Japonsko)

2.3 Spalovací zkouška

Svazeček vláken (cca 0,1g) byl dán do pinzety. Konce vláken byly vloženy do plamene kahanu. Měření bylo prováděno, dokud se vlákna sama nevznítily, neshořela na popel či se prokázala jejich nehořlavost. Byla hodnocena hořlavost materiálu, barva plamene a jeho charakter, vzhled zbytku materiálu a zápach dýmu.

2.4 Stanovení teploty tání vláknenných polymerů.

Teplota tání byla stanovena jen u syntetických vláken. Měření bylo prováděno na Koflerově bodotávku. Nejdříve byl zapnuta vyhřívací část bodotávku, z důvodu, že měřicí stupnice teploměru začínala teplotou 75 °C, také bylo zapotřebí rozehřát desku, na kterou se pokládal vzorek. Příprava vzorku obnášela rozvláknění a následné vpravení vzorku mezi hodinová sklíčka. Hodinová sklíčka byla vložena na desku. Při pohledu do mikroskopu byl obraz rozdělen na dvě poloviny. Pravá polovina odpovídala pohledu na vzorek. Doostření pohledu bylo prováděno na pravé straně přístroje. Levý obraz mikroskopu zaujímal pohled na část teploměru, se zvyšující se teplotou byl posunováno posuvným tlačítkem pro zjištění aktuální teploty. Měření bylo dokončeno při zborcení krystalové struktury, jenž odpovídalo roztavení vlákna tedy teplotě tání. Měření bylo provedeno dvakrát, závěrečné hodnoty byly zprůměrovány



Obrázek 14 Koflerův bodotávek

2.5 Mikroskopická zkouška

Měření bylo prováděno na mikroskopu NU II s připojeným fotoaparátem Canon D60. Jednotlivé snímky byly 10x zvětšeny.

Nejprve bylo několik vláken vloženo mezi dvě sklíčka, toto sklíčko se poté vložilo pod okulár mikroskopu, měření bylo ukončeno vyfocenou fotografií.

2.6 FTIR-ATR spektroskopie

Nejdříve bylo naměřeno referenční spektrum. Před vlastním měřením spekter bylo vlákno vloženo na diamantový krystal a bylo přitlačeno tlačkou. Bylo naměřeno spektrum vzorku na 16 skenů. Poté byl vzorek vyjmut a krystal byl očištěn etanolem.

3 ZÁVĚREČNÉ VÝSLEDKY A DISKUZE

3.1 Spalovací zkouška

Všechny vzorky reagovaly při spalování dle stanovených předpokladů. Na základě spalovací metody bylo rozhodnuto o druhu vlákna. Pokud se jevílo vlákno, jako celulózové hořelo i po vyjmutí vzorku z plamene, zápach byl totožný jako papír a zbytek nedopalku byl ve formě popela. I většina syntetických vláken hořela i po vyjmutí vzorku z plamene, v plamenu se tavná. Jejich zápach byl nasládlý a zbytek vzorku se smrštil do perličky. Bílkovinná vlákna se po vyjmutí z plamene zhasela, zápach byl podobný spáleným vlasům z důvodu keratinu, který je ve vláknech obsažený. Kyselina polymléčná byla jediným syntetickým vláknem, který se po vyjmutí z plamene zhasel, voněl nasládle, zbytek vlákna se velmi jednoduše vláknil. Čedičové vlákno, v plamenu vykazovalo jen mírné tavení, při oddálení vlákna z plamene okamžitě tvrdlo. Tento jev je z důvodu vysoké teploty tání čedičového vlákna.

Tabulka 5 Spalovací zkouška- vzorky, které hořely po vyjmutí z plamene

Hoří po vyjmutí z plamene				
Druh vlákna	Reakce v plamenu	Barva plamene	Zápach	Zbytek
Len	vzplane	škvaří se	papírovina	šedivý popel
Konopí	tavení	žlutý	sladká	černý až šedý popel
Viskóza	vzplane	žlutý (svítivý)	papírovina	černý popel
Egyptská bavlna	škvaření	žlutý (svítivý)	papírovina	černý až šedý popel
Bavlna	škvaření	žlutý (svítivý)	papírovina	černý až šedý popel
Bavlna 1,7 dtex	škvaření	žlutý (svítivý)	papírovina	černý až šedý popel
Čistá HEC	tavení	žlutý	nasládlý	černý popílek
PP	tavení, škvaření	žlutý (svítivý)	nasládlý	sklovatělý (vláknovorný)
PAN	Tavení	světlý, dýmivý	sladký	černý
PET	Tavení	žlutý	nasládlý	sklovatělý, hnědý, vláknovorný
Tesil 12	Tavení	svítivý (žlutý)	nasládlý	sklovatělý, světlá perlička
PA 6	tavení	svítivý	nasládlý	matná smrštená perlička
PA 66	tavení	svítivý	nasládlý	matná smrštená perlička
Lilion	tavení	svítivý	nasládlý (parafínový)	matná tažná perlička

Tabulka 6 Spalovací zkouška- vzorky, které se zhášely po vyjmutí z plamene

Zháší se po vyjmutí z plamene				
Druh vlákna	Reakce v plamenu	barva plamene	zápach	zbytek
Kozí chlup	škvaření vlákna	žlutý	po seně	matná černá perla
Bílá králičí srst	dýmí	žlutý	rohovina	černý
Vlna	škvaření	žlutý	spálené vlasy	černý
Plsti	škvaření	žlutý	spáleně vlasy	černý
PLA	tavení, škvaření	žlutý	parafinový	měkne, odkapává, vláknotvorný

Tabulka 7 Spalovací zkouška- vzorky které nehořely po vyjmutí z plamene

Nehoří po vyjmutí				
druh vlákna	vložením do plamene	barva plamene	zápach	Zbytek
Čedič	mírné tavení	slabá žlutá	nasládlý	okamžitě tvrdne

3.2 Teploty tání textilních materiálů

Teploty tání vzorků se mohou lišit od tabulkových z důvodu neznámých přísad, které jsou obsaženy v daných vzorcích. Největší odlišnosti jsou pozorovány u kyseliny polymléčné, toto vlákno je využíváno k 3D tisku.

Tabulka 8 Teplota tání vzorků textilních materiálů

	1. pokus (°C)	2. pokus (°C)	PRŮMĚR (°C)	TABULKOVÁ HODNOTA (°C)
PET	259-263	258-265	258,5-264	250 -260
Tesil 12	255-260	253-260	254-260	250-260
PP	158-168	162-169	160-169	162-167
PLA	150-162	148-159	149-160	130-160
PAN	220	222	221	Lepí nad 225
PA 6	213-225	210-223	211,5-224	215
PA 66	251-263	251-265	251-264	250
Lilion	225-227	224-227	224,5-227	215-250

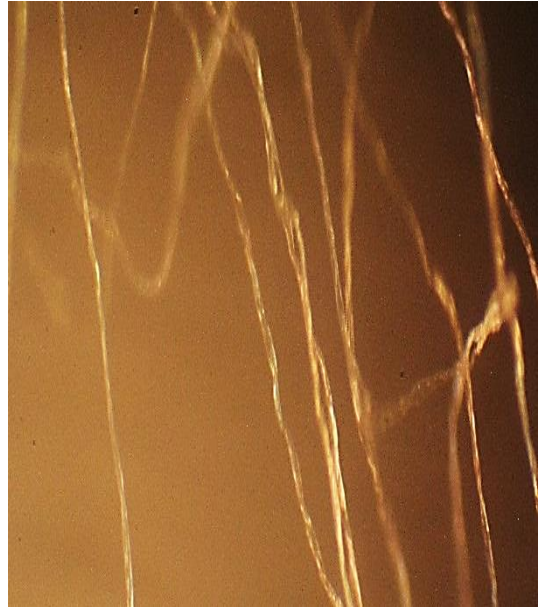
3.3 Mikroskop

3.3.1 Přírodní vlákna

3.3.1.1 Bavlna



Obrázek 16 Bavlna (surová)



Obrázek 15 Bavlna (1,7 dtex)

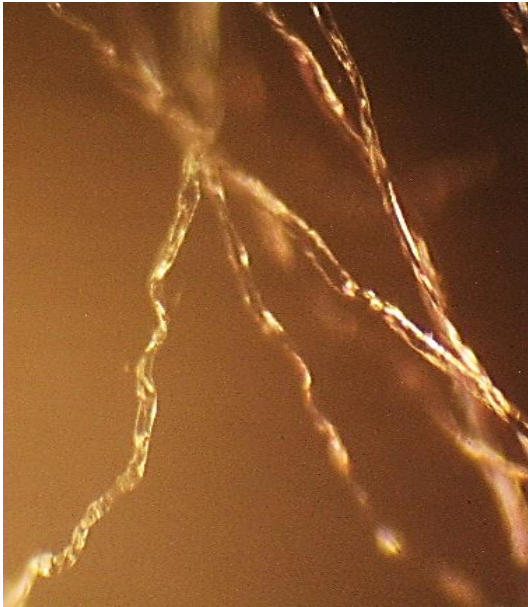


Obrázek 17 Egyptská bavlna

Bavlna se vyznačuje typickým zakroucením vláken do sebe, okraje vlákna jsou mírně zesílené.

Zakroucená struktura definuje zralost bavlny. Nejzralejší bavlna je bavlna egyptská, jejíž zákruty jsou pravidelné, dobře pozorovatelné. Částečně zralá je bavlna 1,7 dtex, zakroucení se na bavlně vyskytuje, ovšem ne v pravidelně se opakujících zákrutech. Surová bavlna je nejméně zralá, zákruty jsou vidět minimálně.

3.3.1.2 Hydroxyethylcelulóza



Obrázek 18 čistá HEC

Hydroxyethylcelulóza se řadí mezi deriváty celulózy, mikroskopicky by vlákna měla splňovat zakroucenou strukturu. Zákruty jsou pozorovatelné, v odlišných délkách a odlišných četností na jednotlivých vláknech

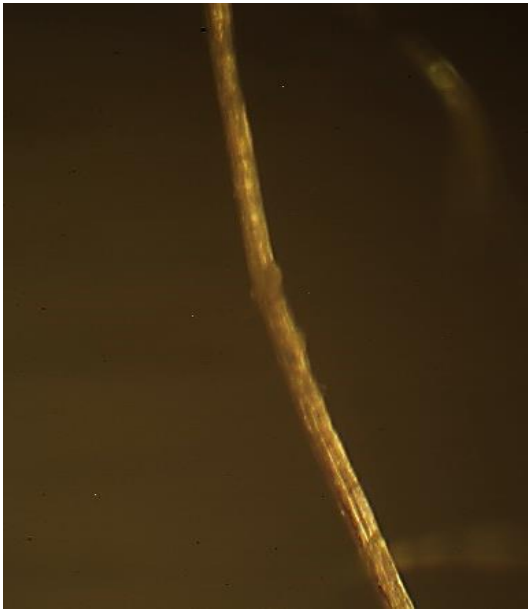
3.3.1.3 Len



Obrázek 19 Len

Len je rozpoznatelný pomocí svých kolínek, kolínka jsou na mikroskopické fotografii pozorovatelná. Povrch vláken je hladký a zesílený pouze v místě vzniku kolínka.

3.3.1.4 Konopí

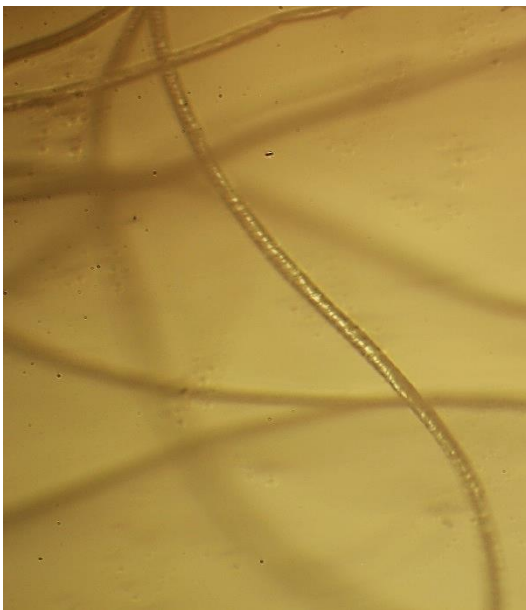


Obrázek 20 Konopí

Konopí je podobně jako len definováno kolínky, která na konopném vlákně jsou přítomná. Vlákně je specifické i svými pruhy, které lze vidět podél celé délky vlákna. Konopné vlákno již není tolik hladké v porovnání se lněným vláknem.

3.3.2 Živočišná vlákna

3.3.2.1 Vlna



Obrázek 21 Vlna

Vlákně vlny se vyznačuje svým šupinkovitým povrchem. Tyto šupinky se vzájemně překrývají.

3.3.2.2 Ostatní živočišná vlákna



Obrázek 23 Kozí chlupy



Obrázek 25 králičí srst (nemořená)



Obrázek 22 Plst' tmavě šedý králík



Obrázek 24 Plst' světle šedý králík



Obrázek 26 Plst' bílý králík

Všechna bílkovinná vlákna mají společný znak – rýhovanou strukturu. Všechna vlákna tento znak dokazují. Každé vlákno je na povrchu zjizvené a rýhované. Pro každý druh bílkovinného vlákna je specifický jiný druh rýhování.

3.4 Infračervená spektra zkoumaných látek

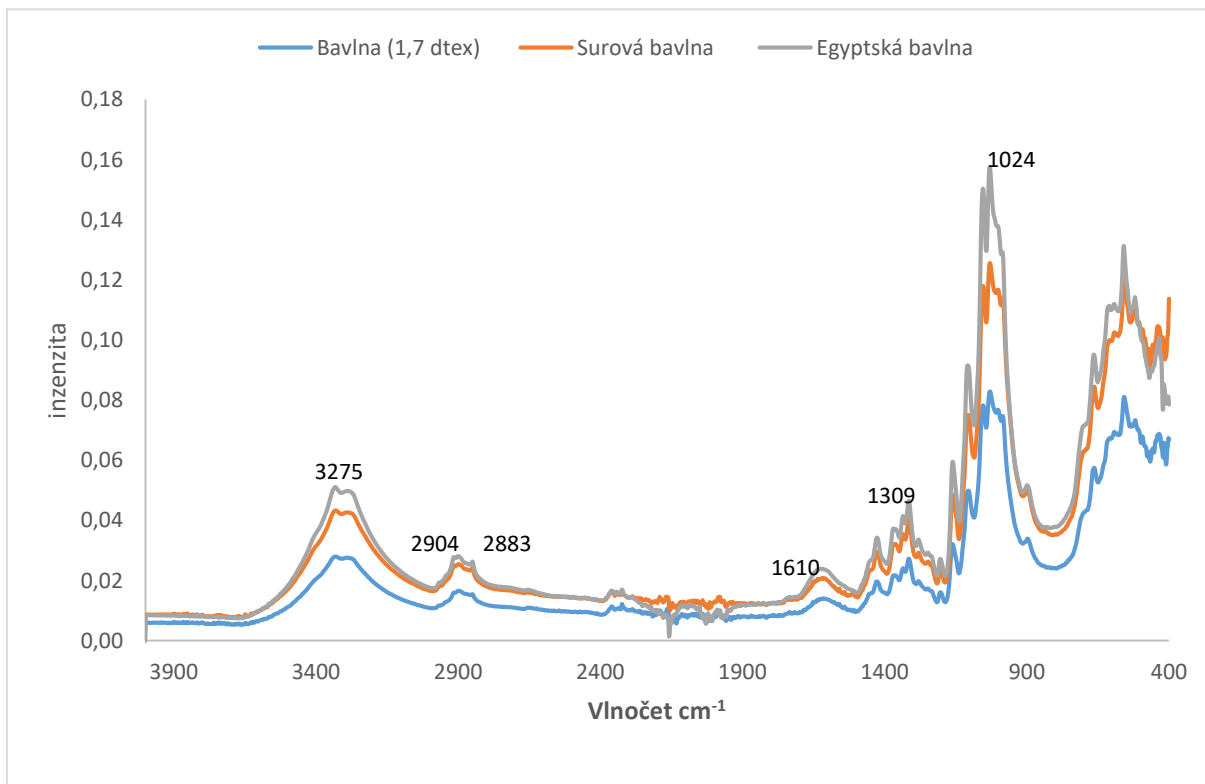
3.4.1 Porovnání infračervených spekter vzorků bavlny

V bavlně je největší množství celulózy v tomto případě bez chemické modifikace, což dokazuje valenční pás 3275 cm^{-1} , který je široký nezaoblený a na jeho vrcholu jsou výstupky, jedná se o O-H vazbu. Vlnčet 2904 cm^{-1} náleží antisymetrické valenční vibraci $-\text{CH}_3$, vedle této vibrace se nachází pás s vlnčetem 2883 cm^{-1} , který odpovídá symetrické valenční vibraci $-\text{CH}_2-$. První deformační vibrace je široký pás s nejvyšším vrcholem 1610 cm^{-1} , který patří funkční skupině O-H. Deformační pás 1309 cm^{-1} určuje funkční skupinu CH.

IR spektra daných vzorků vláken jsou totožná, žádný zásadní rozdíl není pozorován.

Tabulka 9 Infračervená charakteristika vzorků bavlny

Vlnčet cm^{-1}	Charakteristika píku	Funkční skupina
3275	Střední široký	O-H
2904	Slabý	C-H
2883	Slabý	C-H
1610	Slabý	O-H
1309	Střední	C-H
1024	silný	C-O



Obrázek 27 Infračervená spektra vzorků bavlny

3.4.2 Porovnání infračervených spekter bavlny a regenerovaných celulóz

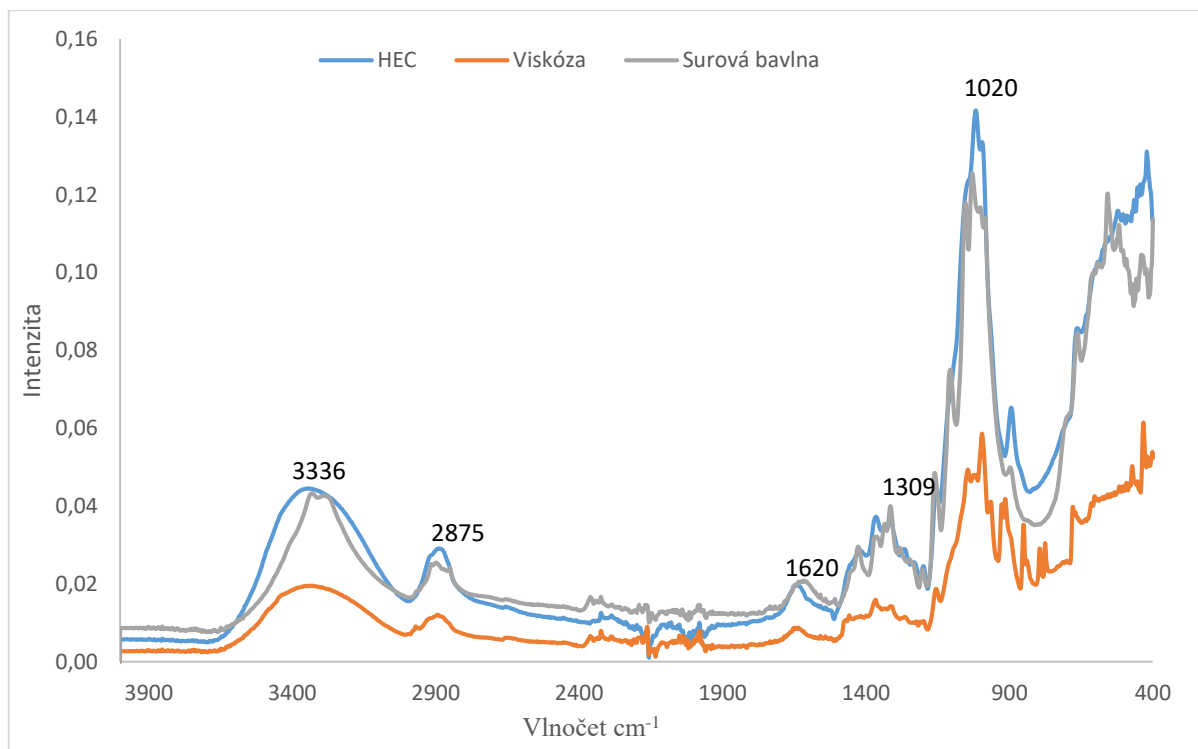
Okolo vlnočtu 3336 cm^{-1} (funkční skupina O-H), lze pozorovat první rozdíl mezi bavlnou a regenerovanými celulózami. Při regeneraci celulózy dochází k modifikaci vnitřní struktury vlákna, proto regenerované celulózy mají pásy široké bez zásadního vyvýšení, tento široký pás zaujímá vlnočty od $3630\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$. V tomto pásu je možný výskyt vody. Bavlna, na rozdíl od regenerovaných celulóz má pás značící O-H skupinu ostrý se zřetelným vrcholem 3320 cm^{-1} . Deformační vibrace O-H připadá na vlnočet 1620 cm^{-1} zde jsou pásy zkoumaných vzorku stejné.

Pás, kterému náleží vlnočet $2980\text{--}2750\text{ cm}^{-1}$ je přiřazen vazbě -CH_3 a $\text{-CH}_2\text{-}$ tento široký vlnočet odpovídá regenerovaným celulózám. U bavlny jsou zřejmé dva píky, jež charakterizují symetrické -CH_3 a antisymetrické $\text{-CH}_2\text{-}$. Jedná se o vlnočty 2873 cm^{-1} a 2845 cm^{-1} . Deformační vibrací CH vazeb je vlnočet 1309 cm^{-1} , zde není zřejmý rozdíl mezi bavlnou a regenerovanou celulózou.

Nejvyšším pásem, který je shodný se všemi vzorky je pás valenční vibrace o vlnočtu 1020 cm^{-1} . Tento pás odpovídá přítomnosti funkční skupiny C-O.

Tabulka 10 Infračervená charakteristika bavlny a regenerovaných celulóz

Vlnočet cm^{-1}	Charakteristika píku	Funkční skupina
3336	Střední	O-H
2875	Slabý	C-H
1620	Slabý	O-H
1309	Slabý	C-H
1020	Silná	C-O



Obrázek 28 Infračervená spektra bavlny a regenerovaných celulóů

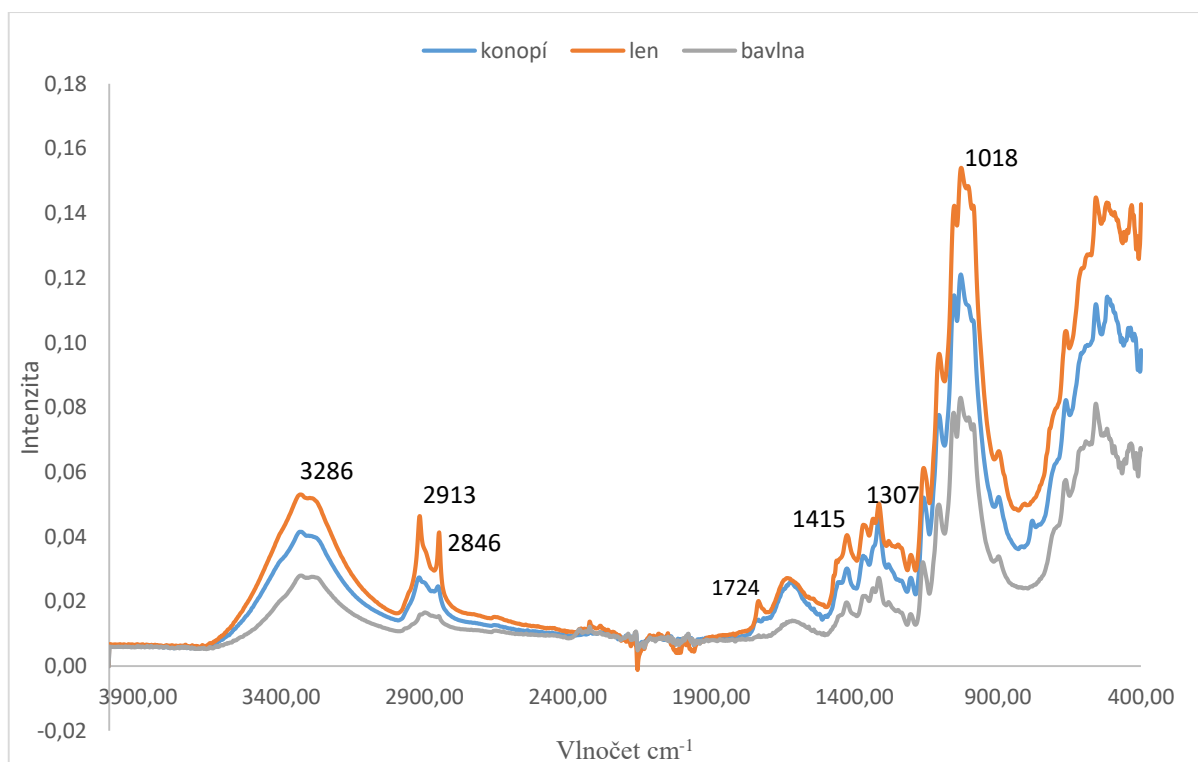
3.4.3 Porovnání infračervených spekter přírodních vláken

Přírodní vlákna jsou složena z velké části celulózou. Len a konopí jsou vlákna staplová a bavlna vlákna tobočková. Hlavní pásy vazeb CH a OH jsou totožná pro všechny formy celulózy. Rozdíl lze najít na pásu 1724, kdy len i konopí mají mírný vzrůst, na druhou stranu bavlna má stabilní intenzitu pásu.

Střední široký infračervený pás s nejvyšším bodem vlnočtu 3286 cm^{-1} odpovídá funkční skupině O-H. CH vazbám náleží jeden široký pás, ovšem vlnočty 2913 cm^{-1} odpovídá antisymetrické valenční vibraci a vlnočty 3286 cm^{-1} symetrické valenční vibraci. Střední úzký pás vlnočtu 1415 cm^{-1} je deformační vibraci OH, vedle tohoto pásu leží deformační vibrace C-H (1307 cm^{-1}). Nejvyšší pás z celého spektra náleží vazbě C-O s vlnočtem 1018 cm^{-1} .

Tabulka 11 Infračervená charakteristika přírodních vláken

Vlnočty cm^{-1}	Charakteristika píku	Funkční skupina
3286	Střední	O-H
2913	Střední	C-H
2846	Střední	C-H
1415	Střední	O-H
1307	Střední	C-H
1018	Silný	C-O



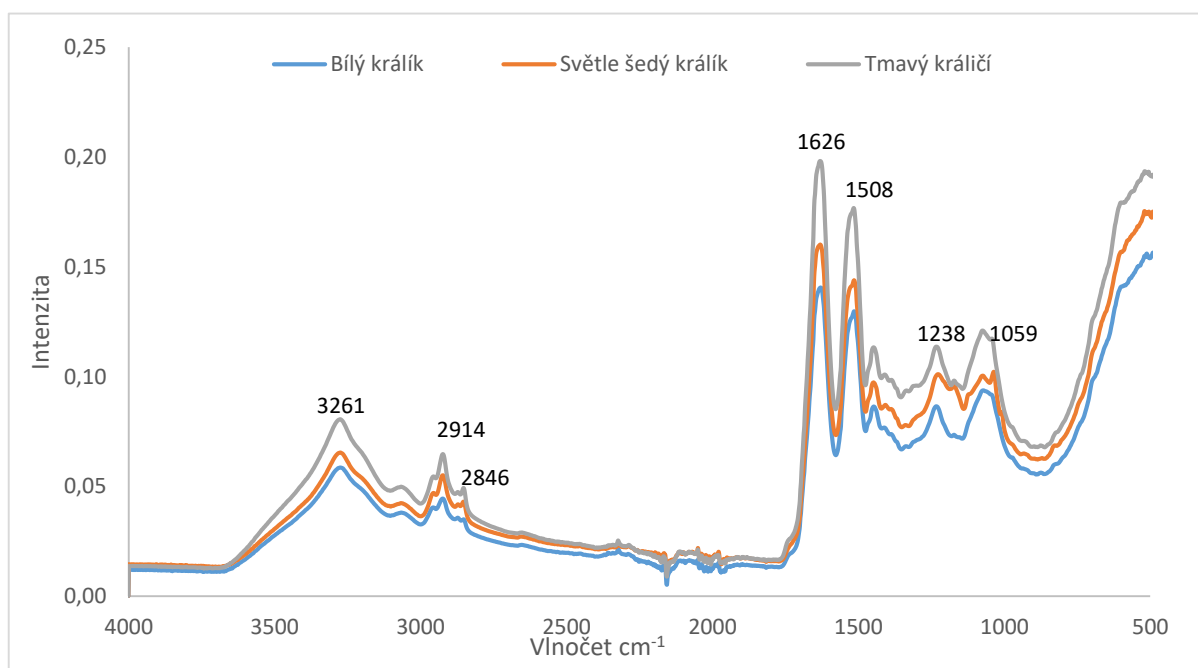
Obrázek 29 Infračervené spektrum přírodních vláken

3.4.4 Porovnání infračervených spekter živočišných vláken

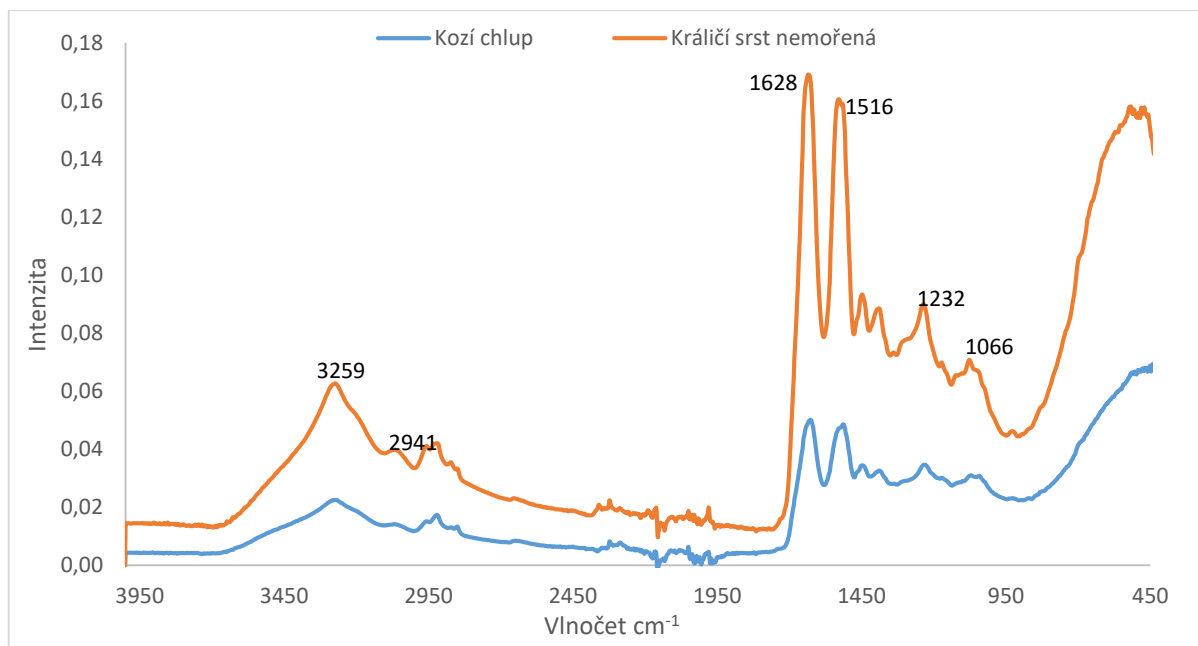
Živočišná vlákna jsou z velké části tvořené keratinem, tuto bílkovinu charakterizují vazby C=O, C-H, C-N. První valenční pás o vlnočtu 3216 cm^{-1} , udává informaci, že se ve vláknech nachází funkční skupina O-H, tento pás je široký, pásu je od 3622 cm^{-1} - 3157 cm^{-1} . Další funkční skupinou vykazující valenční vibraci jsou funkční skupiny CH, $-\text{CH}_3$ antisymetrická valenční vibrace (2941 cm^{-1}) a $-\text{CH}_2-$ symetrická valenční vibrace. Nejsilnější pás, kterému patří vlnočet 1626 cm^{-1} náleží valenční vibraci C=O. Vedle infračerveného pásu C=O se rozprostírá deformační vibrace funkční skupiny N-H (1508 cm^{-1}). Vlnočet 1238 cm^{-1} a 1059 cm^{-1} , jehož střední pásy jsou funkční skupinou C-O

Tabulka 12 Infračervená charakteristika vzorků živočišných vláken

Vlnočet cm^{-1}	Charakteristika pásu	Funkční skupina
3261	Střední	O-H
2941	Střední	C-H
2846	Střední	C-H
1626	Silný	C=O
1508	Silný	N-H
1238	Střední	C-O
1059	Střední	C-O



Obrázek 30 Infračervené spektrum plstí



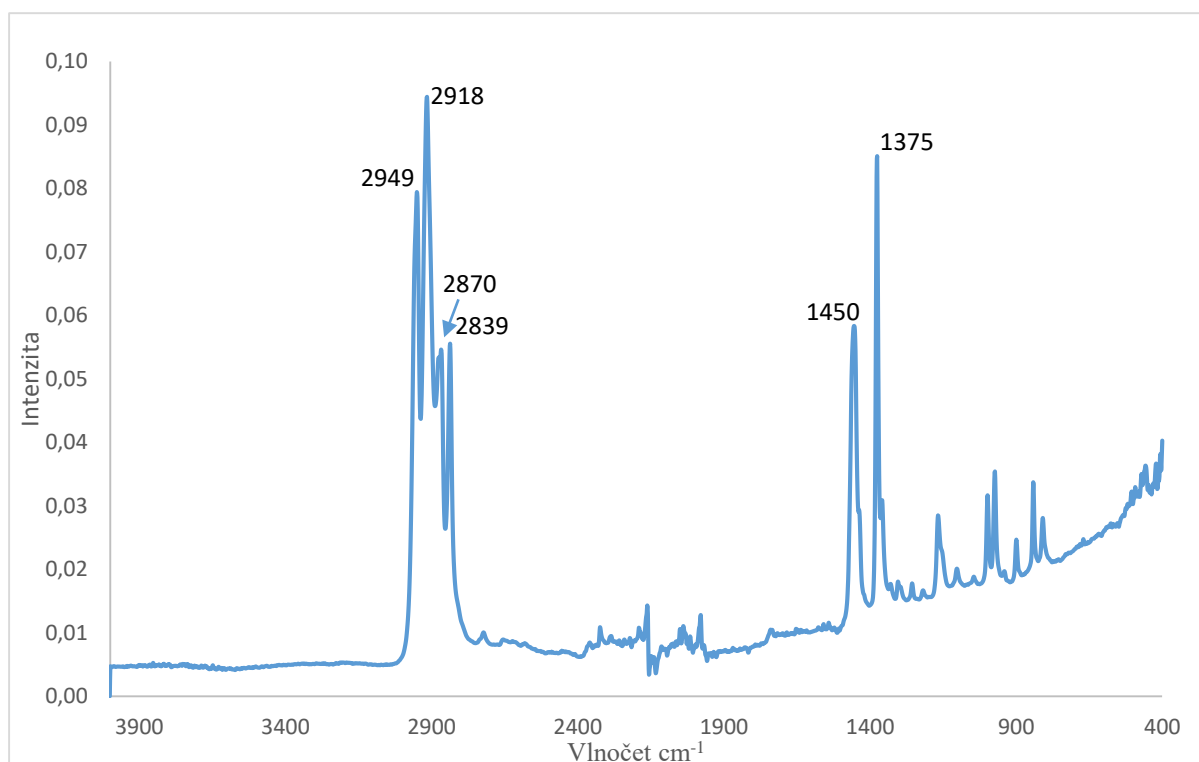
Obrázek 31 Infračervené spektrum ostatních srstí

3.4.5 Infračervené spektrum polypropylenu

Polypropylen je nenasycený uhlovodík, v němž se vyskytují alifatické skupiny a to CH_2 a CH_3 . Vlnočty 2949 cm^{-1} a 2918 cm^{-1} charakterizují nejsilnější pásy, tyto pásy náleží antisymetrické valenční vibraci $-\text{CH}_3$ a $-\text{CH}_2-$. Pod antisymetrickou valenční vibrací je oblast symetrických valenčních vibrací (2870 cm^{-1} a 2839 cm^{-1}) funkčních skupin $-\text{CH}_3$ a $-\text{CH}_2-$. Deformační vibrace v pravé části grafu charakterizují vlnočty 1450 cm^{-1} - 1375 cm^{-1} tyto vibrace náleží funkčním skupinám CH_3 .

Tabulka 13 Infračervená charakteristika PP

Vlnočet (cm^{-1})	Charakteristika pásu	Funkční skupina
2949	Silný	CH_3
2918	Silný	CH_2
2870	Sřední	CH_3
2839	Sřední	CH_2
1450	Silný	CH_3
1375	Silný	CH_3



Obrázek 32 Infračervené spektrum PP

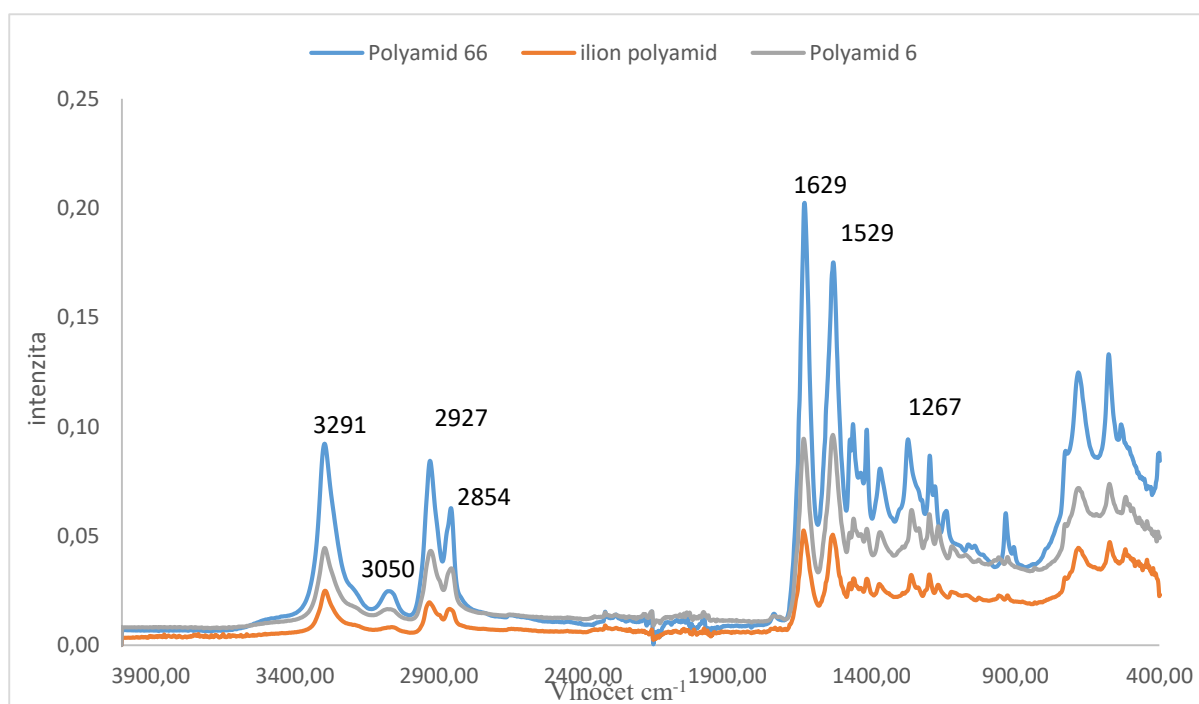
3.4.6 Porovnání infračervených spekter polyamidů

Vlnočty 3291 cm^{-1} a 3059 cm^{-1} jsou spjaté s funkční skupinou N-H, která je jednou z charakteristických skupin polyamidů, tento vlnočet poukazuje na přítomnost sekundárních aminů. Jeho deformační vibrace je pás s vlnočtem 1529 cm^{-1} . Vazba C=O se nachází v druhé části grafu, tento pás je určován vlnočtem 1629 cm^{-1} . Pás 1267 cm^{-1} definuje přítomnost vazby C-N. Součástí polyamidů jsou i funkční skupiny alkanů a to -CH₂- tedy antisymetrická valenční vibrace (2927 cm^{-1}), vedle tohoto pásu se nachází střední pás symetrické valenční vibrace -CH₂- (2854 cm^{-1}).

V grafu jsou ukázána vzorky polyamidů. Lilion polyamid a polyamid 6 vykazují stejné pásy s minimálními odlišnostmi. Polyamid 66 od těchto vzorků poukazuje odlišnost v rozmezí pásů 1500 cm^{-1} - 900 cm^{-1} . Odlišnosti jsou způsobeny rozdílným počtem funkčních skupin, jejich intenzita byla při měření silnější než při ostatních polyamidech.

Tabulka 14 Infračervená charakteristika vzorků PA

Vlnočet (cm^{-1})	Charakteristika pásů	Funkční skupina
3291	Silný	N-H
3059	Slabý	N-H
2927	Silný	CH ₂
2854	Střední	CH ₂
1629	Silný	C=O
1529	Silný	N-H
1267	Střední	C-N



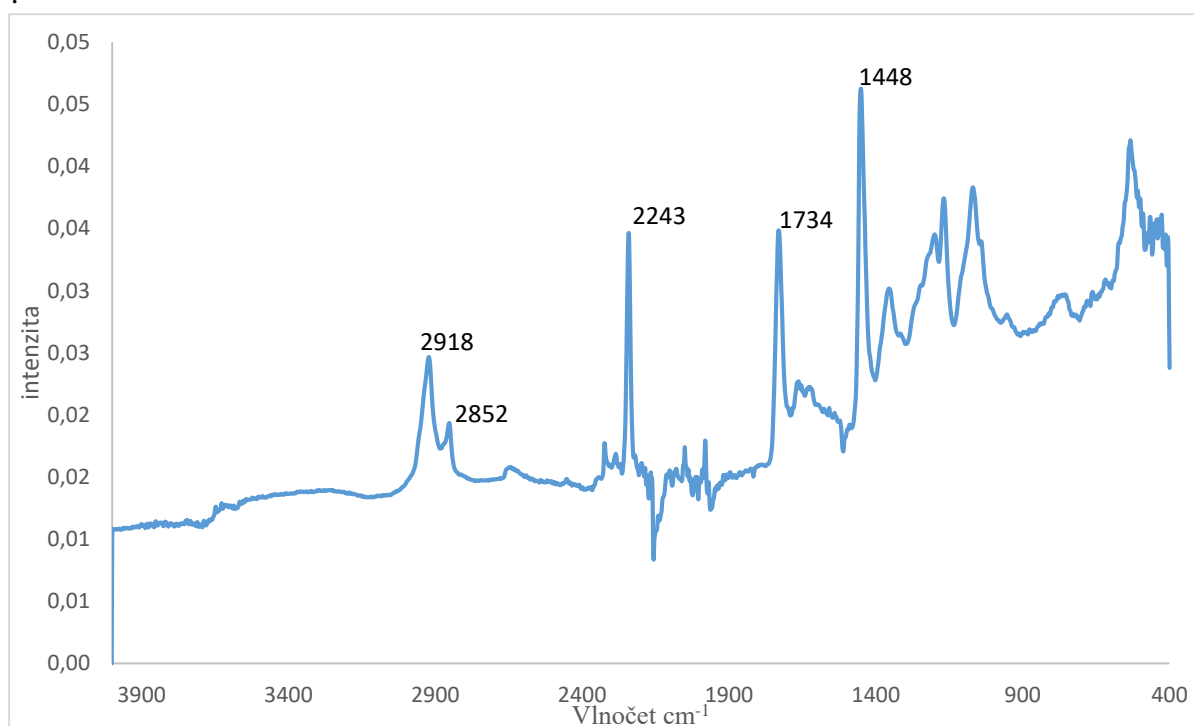
Obrázek 33 Infračervená spektra vzorků PA

3.4.7 Infračervené spektrum polyakrylonitrilu

Asymetrické valenční vibrace $-\text{CH}_3$ byly v polyakrylonitrilu nalezeny na vlnočtu 2918 cm^{-1} . Vedle asymetrické valenční vibrace leží symetrická valenční vibrace $-\text{CH}_2-$ s vlnočtem 2852 cm^{-1} . Charakteristickou funkční skupinou polyakrylonitrilu je vazba $\text{C}\equiv\text{N}$, jedná se o nejsilnější vlnočet 2243 cm^{-1} . Deformační vibrace popisuje vazba $\text{C}-\text{H}$ s vlnočtem 1448 a 2927 cm^{-1} . Infračervený pás s vlnočtem 1734 cm^{-1} informuje o přítomnosti funkční skupiny $\text{C}=\text{O}$. Polyakrylonitril není nikdy čisté vlákno vyrobené pouze z akrylonitrilu, v tomto případě vlákno obsahuje esterovou vazbu

Tabulka 15 Infračervená charakteristika PAN

Vlnočet (cm^{-1})	Charakteristika pásů	Funkční skupina
2918	Střední	N-H
2852	Slabý	C-H
2243	Střední	$\text{C}\equiv\text{N}$
1448	Silný	C-H



Obrázek 34 Infračervené spektrum PAN

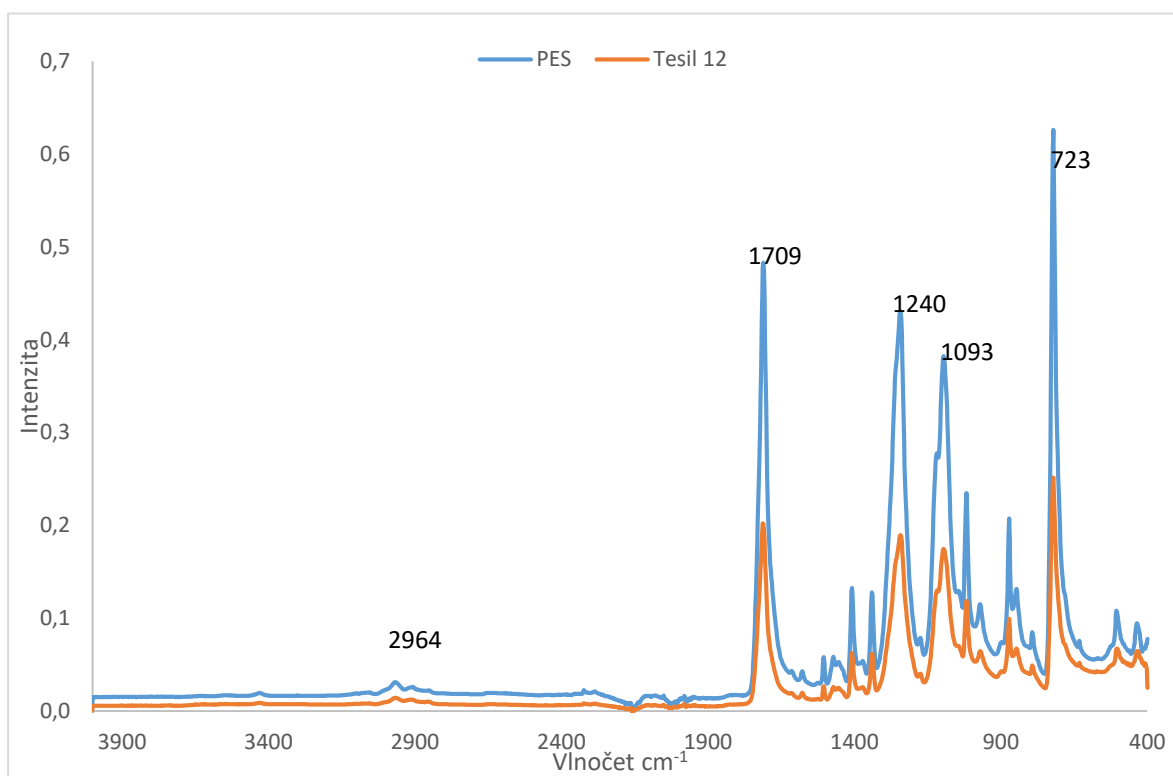
3.4.8 Porovnání infračervených spekter polyesterů

Vazba definující polyester je esterová vazba, silný pás 1709 cm^{-1} definuje přítomnost C=O. Dalším silným pásem je pás o vlnočtu 1093 cm^{-1} , který udává funkční skupinu C-O, takto silný pás pojednává o existenci esteru, jenž obsahuje aromatický kruh. Nejslabší pás spektra (2964 cm^{-1}) náleží funkční skupině C-H, která definuje přítomnost aromatického cyklu v látce. Deformační vibraci C-H nacházející se v aromatickém cyklu náleží vlnočty 723 cm^{-1} .

Změny mezi vzorky nejsou pozorovatelné, jelikož Tesil 12 je nemodifikované vlákno PET.

Tabulka 16 Infračervená charakteristika PES

Vlnočty cm^{-1}	Charakteristika píku	Funkční skupina
2964	Slabý	C-H
1709	Silný	C=O
1240	Silný	C-O
1093	Silný	C-O
723	Silný	C-H



Obrázek 35 Infračervená spektra PES

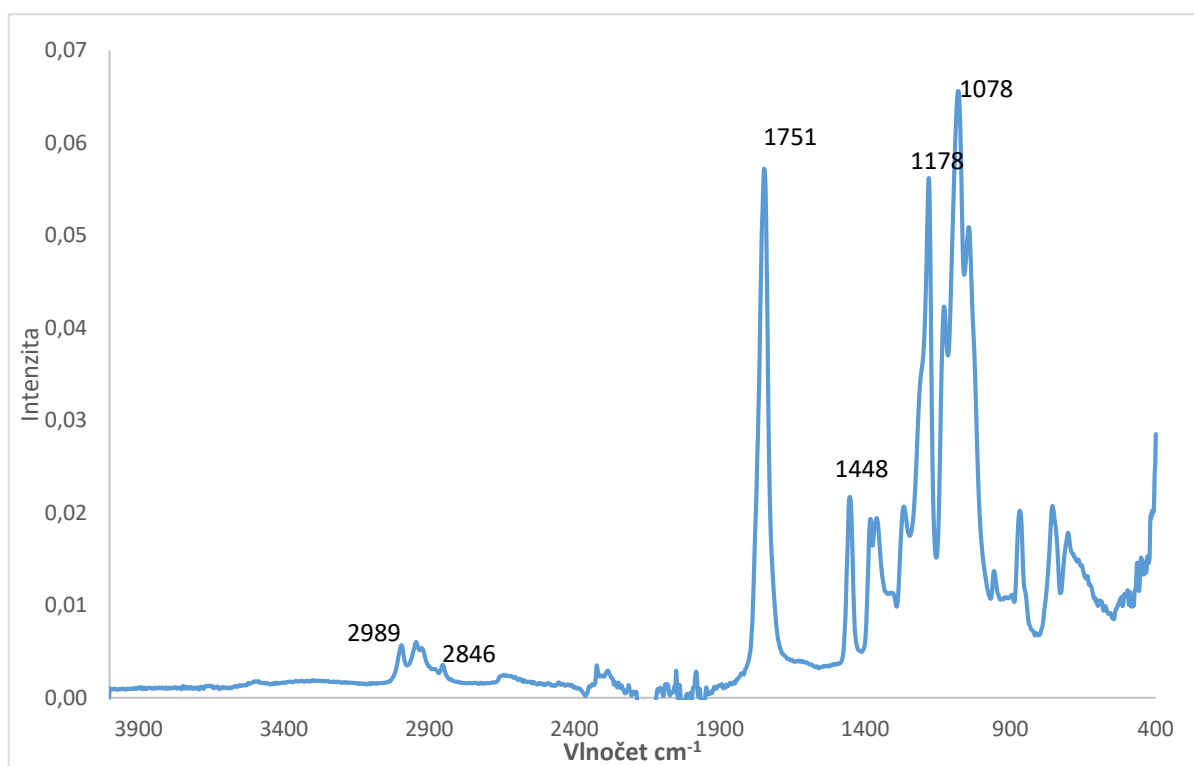
3.4.9 Infračervené spektrum kyseliny polymléčné

Kyselina polymléčná je polyester, tedy směrodatným ukazatelem identifikace vlákna je esterová vazba. Silný pás vlnočtu 1751 cm^{-1} vykazuje přítomnost C=O. Deformační vibrace funkční skupiny C-O se pohybují na pásech o vlnočtech 1178 cm^{-1} a 1078 cm^{-1} .

Infračervený pás, jemuž náleží vlnočet 2989 cm^{-1} určuje antisymetrickou valenční vibraci funkční skupiny $-\text{CH}_3$. Vedle tohoto pásu leží symetrická vibrace funkční skupiny $-\text{CH}_2-$ o vlnočtu 2846 cm^{-1} . Deformační vibrace funkčních skupin C-H se nacházejí na pásech o vlnočtech 1448 cm^{-1} a 1367 cm^{-1} .

Tabulka 17 Infračervená charakteristika PLA

Vlnočet (cm^{-1})	Charakteristika píku	Funkční skupina
2989	Slabý	C-H
2846	Slabý	C-H
1751	Silný	C=O
1448	Střední	C-H
1367	Střední	C-H
1178	Silný	C-O
1078	Silný	C-O



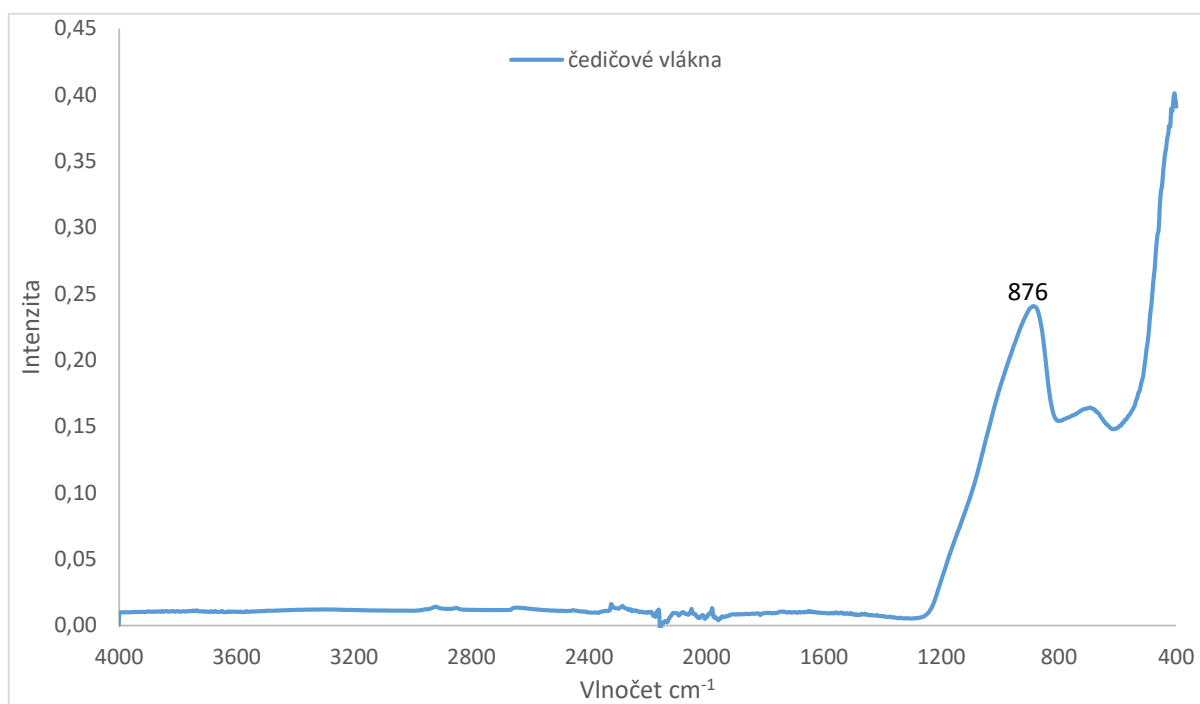
Obrázek 36 Infračervené spektrum PLA

3.4.10 Infračervené spektrum minerálního vlákna (čedičové vlákno)

Čedičové vlákno je směs oxidu. 50% složení čediče je tvořen SiO_2 . Přítomnost tohoto oxidu dokazuje vlnočet 876 cm^{-1} .

Tabulka 18 Infračervená charakteristika čedičového vlákna

Vlnočet	Charakteristika pásu	Funkční skupina
876	Střední	SiO_2



Obrázek 37 Infračervené spektrum čedičového vlákna

4 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla za cíl ověřit vhodnost využití metod k identifikaci textilních materiálů. Pro porovnání byly vzorky textilních materiálů identifikovány pomocí standardních metod a analytické instrumentální metody. Nejprve byly vzorky identifikovány pomocí spalovací zkoušky. Textilní vzorky byly díky této metodě rozřazeny na přírodní a syntetické. K finální identifikaci přírodních vláken dopomohlo mikroskopické stanovení, kde pomocí shlédnuté textury povrchu vlákna bylo přiřazen typ vlákna. Syntetická vlákna byla identifikována pomocí stanovení teploty tání. Charakterizace vláken byla úspěšná, velkou nevýhodou identifikace textilní vláken spalováním a měřením teploty tání je destrukce vzorků textilních materiálů.

Hlavní důraz této bakalářské práce byl kladen na využití metody FTIR-ATR k identifikaci textilních materiálů syntetického i přírodního původu. Tato metoda se osvědčila jako vhodná, jelikož u všech vzorků byly nalezeny charakteristické pásy pro daný typ textilního vlákna. Funkční skupina s největším vlnočtem byla skupina OH, jejíž vlnočet byl okolo 3300 cm^{-1} , tato funkční skupina se nejčastěji objevovala u celulózových a živočišných vláken. Vlnočet $3000\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ charakterizoval funkční skupinu N-H, charakteristickou zejména pro polyamidová a polyakrylová vlákna. Polyamidy i polyestery mají společnou charakteristickou funkční skupinu C=O, ta nabývala vlnočtů $1620\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$. Polyesterová charakteristická funkční skupina C-O měla vlnočty pohybující se od $1100\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$. U čedičové vlákna poukazoval vlnočet 876 cm^{-1} na přítomnost SiO_2 .

Výhodou tohoto měření je, že nedochází k destrukci vláken jako u předchozích identifikací a také, že měření je rychlé. Dále bylo možné touto metodou zjistit komonomery, jež se v daném vlákně nacházejí.

Díky této bakalářské práci bylo možno vytvořit knihovnu ATR spekter textilních materiálů, díky které bude snazší budoucí identifikace neznámých vzorků textilních materiálů.

5 SEZNAM OBRÁZKŮ A ILUSTRACÍ

Obrázek 1	Strukturní vzorec celulózy [4].....	13
Obrázek 2	Schéma celulóзовého vlákna [7, s. 28].....	14
Obrázek 3	Podélný průřez bavlny [11, s. 11]	15
Obrázek 4	Podélný průřez vlákna vlny [20, s. 179].....	18
Obrázek 5	Skladba vlákna pravého hedvábí [25, s. 51].....	19
Obrázek 6	Struktura vlákna kašmíru [30, s 139]	20
Obrázek 7	Strukturní vzorec polyamidu 6	21
Obrázek 8	polykondenzace za vzniku polyamidu 66	22
Obrázek 9	Strukturní vzorec polyethylentereftalátu	22
Obrázek 10	Strukturní vzorec polyakrylonitrilu	23
Obrázek 11	Strukturní vzorec polypropylenu.....	24
Obrázek 12	Strukturní vzorec kyseliny polymléčné.....	25
Obrázek 13	Průchod infračerveného paprsku přes krystal a vzorek.....	29
Obrázek 14	Koflerův bodotávek.....	33
Obrázek 15	Bavlna (1,7 dtex).....	37
Obrázek 16	Bavlna (surová)	37
Obrázek 17	Egyptská bavlna	37
Obrázek 18	čistá HEC.....	38
Obrázek 19	Len.....	38
Obrázek 20	Konopí.....	39
Obrázek 21	Vlna	39
Obrázek 22	Plst' tmavě šedý králík	40
Obrázek 23	Kozí chlupy	40
Obrázek 24	Plst' světle šedý králík	40
Obrázek 25	králičí srst (nemořená).....	40
Obrázek 26	Plst' bílý králík.....	41
Obrázek 27	Infračervená spektra vzorků bavlny	42
Obrázek 28	Infračervená spektra bavlny a regenerovaných celulóz	44
Obrázek 29	Infračervené spektrum přírodních vláken	45
Obrázek 30	Infračervené spektrum plstí.....	46
Obrázek 31	Infračervené spektrum ostatních srstí.....	47
Obrázek 32	Infračervené spektrum PP	48

Obrázek 33 Infračervená spektra vzorků PA	49
Obrázek 34 Infračervené spektrum PAN	50
Obrázek 35 Infračervená spektra PES	51
Obrázek 36 Infračervené spektrum PLA	52
Obrázek 37 Infračervené spektrum čedičového vlákna	53

6 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Spalovací zkouška - charakteristické textilních vláken chování v plamenu [44][41]	26
Tabulka 2 Teploty tání daných vláken [46, s. 72][47, s. 263][44].....	27
Tabulka 3 Mikroskopická charakteristika vláken [49, s. 35][44].....	28
Tabulka 4 Charakteristika pásů [54] [55]	31
Tabulka 5 Spalovací zkouška- vzorky, které hořely po vyjmutí z plamene	35
Tabulka 6 Spalovací zkouška- vzorky, které se zžářely po vyjmutí z plamene	36
Tabulka 7 Spalovací zkouška- vzorky které nehořely po vyjmutí z plamene	36
Tabulka 8 Teplota tání vzorků textilních materiálů.....	36
Tabulka 9 Infračervená charakteristika vzorků bavlny.....	42
Tabulka 10 Infračervená charakteristika bavlny a regenerovaných celulóz.....	43
Tabulka 11 Infračervená charakteristika přírodních vláken	45
Tabulka 12 Infračervená charakteristika vzorků živočišných vláken.....	46
Tabulka 13 Infračervená charakteristika PP	48
Tabulka 14 Infračervená charakteristika vzorků PA	49
Tabulka 15 Infračervená charakteristika PAN.....	50
Tabulka 16 Infračervená charakteristika PES.....	51
Tabulka 17 Infračervená charakteristika PLA	52
Tabulka 18 Infračervená charakteristika čedičového vlákna.....	53

7 SEZNAM LITERATURY

- [1] PILLER, B., LEVINSKÝ, O. *Malá encyklopedie textilních materiálů*. 2. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982, s 210. [cit. 30. 4. 2019]
- [2] HEARLE, J. W. S. Fibre structure: its formation and relation to performance. *Handbook of Textile Fibre Structure, Volume 1 - Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres* [online]. Edited by EICHHORN, S. J., HEARLE, J. W. S., JAFFE, M., KIKUTANI, T. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009, s. 3-4. ISBN 978-1-84569-650-4. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009386V2/handbook-textile-fibre/the-nature-of-fibres>
- [3] McCANN, J. Environmentally Conscious Fabric Selection in Sportswear Design, Roshan. *Textiles for Sportswear* [online]. Edited by SHISHOO, R. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015, s 23. ISBN 978-1-78242-236-5. [cit. 11. 3. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel :<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UCJEXP/textiles-sportswear/cotton>
- [4] Cellulose. In: *Sigma-Aldrich* [online]. © 2019 Merck [cit. 18. 3. 2019] Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/c6288?lang=en®ion=CZ>
- [5] MATHER, R. R., WARDMAN, R H. Cellulosic fibre. MATHER, R R. WARDMAN, R H. *Chemistry of Textile Fibres*. [online]. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015 s. 25-30. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 23. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A7TR4J/chemistry-textile-fibres/seed-fibres>
- [6] HLADÍK, V. Celulózová vlákna. *Textilní vlákna* HLADÍK, V., BENÍŠEK L., ČERNÝ, J. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970, s. 165-173. ISBN 04-834-70. [cit. 30. 4. 2019].
- [7] Schematic representation of cotton morphology. In: MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Cellulosic fibre. *Chemistry of Textile Fibres*. [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2011 s. 28. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A7TR4J/chemistry-textile-fibres/seed-fibres>
- [8] ŠŤUPÁREK, J. Přírodní polymery. *Makromolekulární chemie: úvod do chemie a technologie polymerů*. ŠŤUPÁREK J. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014, s 129. ISBN 978-80-7395-761-2. [cit. 23. 4. 2019]
- [9] MUNIR, A. An introduction. *Textile Engineering* [online]. NAWAB, Y. Pakistan: Faisalabad, De Gruyter, 2016, s 8. ISBN 978-3-11-041324-3. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011L2DT2/textile-engineering-an/cotton-fibers>
- [10] GRISHANOV, S. Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing, Volume 1 - Principles, Processes and Types of Dyes* [online]. Edited by CLARK, M. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011 s. 11. ISBN 978-0-85709-397-4. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0097UDE7/handbook-textile-industrial-2/properties-cotton-fibre>
- [11] Longitudinal view of cotton fibres. GRISHANOV S. Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing, Volume 1 - Principles, Processes and Types of Dyes* [online]. Edited by CLARK, M. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011 s. 11. ISBN 978-0-85709-397-4. [cit. 14. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel:

<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0097UDE7/handbook-textile-industrial-2/properties-cotton-fibre>

[12] JABBAR, M., SHAKER, K. Textile Raw Materials. *Textile Engineering* [online]. Edited by NAWAB, Y. Berlin: De Gruyter, 2016, s 10. ISBN 978-3-11-041326-7. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011L2DT2/textile-engineering-an/cotton-fibers>

[13] MATHER, R. R., WARDMAN, H. R. Cellulosic Fibres. *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, H. R. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015, s 54-55. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 1. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A7TRJ1/chemistry-textile-fibres/hemp>

[14] MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Celulosic fiber, *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015, s 49-52. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 14. 2. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A7TRI5/chemistry-textile-fibres/flax>

[15] HLADÍK, V. Celulózná vlákna. *Textilní vlákna*. HLADÍK, V., BENÍŠEK L., ČERNÝ, J. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970, s. 194-195. ISBN 04-834-70. [cit. 28. 1. 2019]

[16] ŠNUPÁREK, V. *Makromolekulární chemie: úvod do chemie a technologie polymerů*. 3. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014, s 166. ISBN 978-80-7395-761-2. [cit. 30. 3. 2019]

[17] MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Regenerated fiber. *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015, s 118-139. ISBN: 978-1-78262-023-5. [cit. 16. 6. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFDK3/chemistry-textile-fibres/regenerated-cellulosic>

[18] BENÍŠEK, V., KRČMA, A.. Proteinová vlákna. *Textilní vlákna*. HLADÍK, V., BENÍŠEK L., ČERNÝ, J.. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970, s. 165-173. ISBN 04-834-70. [cit. 30. 4. 2019].

[19] ŠNUPÁREK, V., *Makromolekulární chemie: úvod do chemie a technologie polymerů*. 3. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014, s 166. ISBN 978-80-7395-761-2. [cit. 1. 2. 2019]

[20] GRISHANOV, S.. Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing, Volume 1 - Principles, Processes and Types of Dyes* [online]. Edited by CLARK, M.. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011, s 51-52. ISBN 978-0-85709-397-4. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0097UDG3/handbook-textile-industrial-2/properties-wool-fibre>

[21] Wool fibre surface showing the scales. KUFFNER, H.. Wool fibres. *Handbook of Natural Fibres, Volume 1 - Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation* [online]. Edited by KOZŁOWSKI, R. M.. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, s 179. ISBN 978-0-85709-550-3. [cit. 30. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BS0MS1/handbook-natural-fibres/properties-of-wool>

[22] Bhat, Gajanan. (2017). *Structure and Properties of High-Performance Fibers - 14.2.1 Fiber Structure*. (pp. 368). Elsevier. Retrieved from

<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01147NF4/structure-properties/wool-high--fiber-structure>

[23] MADEHA, J., KHUBAB S.. Textile raw materials. *Textile Engineering-an introduction* [online]. Edited by NAWAB, Y.. Berlin: De Gruyter, 2016, s 14,15. ISBN 978-3-11-041326-7. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011L2DX9/textile-engineering-an/wool>

[24] CURRIE, R. Silk.. *Silk, Mohair, Cashmere and other Luxury Fibres* [online], Edited by FRANCK, R. R.. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, s 9-10. ISBN 978-1-85573-540-8. [cit. 3. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003IHAX3/silk-mohair-cashmere/silk-fibre-its-characteristics>

[25] Schematic structure of a silk fiber. CHAWLAN, K., K. *Natural polymeric fibre. Fibrous Materials* [online]. CHAWLAN, K., K.. 2. vydání. Cambridge: Cambridge University Press, 2016, s 51. ISBN 978-1-107-02972-9. [cit. 1. 5. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010YG561/fibrous-materials-2nd/spidersilk-silk-fiber>

[26] GRISHANOV, S., Clark, M.. Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing, Volume 1 - Principles, Processes and Types of Dyes* [online]. Edited by CLARK, M.. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011, s 53-54. ISBN 978-0-85709-397-4. [cit. 30. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0097UDI1/handbook-textile-industrial-2/man-made-fibres>

[27] WONGPANIT P, PORNSUNTHORNTAWEE O, RUJIRAVANIT R.. Silk fibre composites. *Natural Polymers, Volume 1 – Composites* [online]. Edited by MAYA J J., SABU, T.. Cambridge: Royal Society of Chemistry. 2012, s 221-222. ISBN: 978-1-84973-402-8. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00B40I32/natural-polymers-volume/raw-silk-threads-spun>

[28] MADEHA, J., KHUBAB S. Textile raw materials. *Textile Engineering-an introduction* [online]. Edited by NAWAB, Y. Berlin: De Gruyter, 2016, s 14. ISBN 978-3-11-041326-7. [cit. 29. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011L2DX9/textile-engineering-an/wool>

[29] HUNTER, L., MANDELA, N. Mohair, cashmere and other animal hair fibres. *Handbook of Natural Fibres, Volume 1 - Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation* [online]. Edited by KOZLOWSKI, R. M. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012 s 222-241. ISBN 978-0-85709-550-3. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BS0O11/handbook-natural-fibres/cashmere-fibre-production>

[30] Cashmere goat fibre, Cashmere and camelhair and other hair. DALTON J. *Silk, Mohair, Cashmere and other Luxury Fibres* [online]. Edited by FRANCK, R. R. Cambridge: Woodhead Publishing. 2001, s 139. ISBN 978-1-85573-540-8. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003IHBM4/silk-mohair-cashmere/cashmere-pashmina-cashgora>

[31] *Malá encyklopedie*. LEVINSKÝ O., PILLER B. 2. vydání. Praha, SNTL- nakladatelství technické literatury, 1982, s 169. [cit. 20. 4. 2019]

[32] *Základy výroby plstí*. GAJDA, E., OGARDÁŠ, O. Brno, 1983, s 6-8. [cit. 2. 4. 2019]

- [33] JAMIR, M. M. R., MAJID M. S. A., KHASRI A. Natural lightweight hybrid composites for aircraft structural applications. *Sustainable Composites for Aerospace Applications* [online]. Edited by JAWAID, M., THARIQ, M. Cambridge: Elsevier, 2018, s 158-159. ISBN: 978-0-08-102138-5. [cit. 30. 3. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011PEGDJ/sustainable-composites/classification-matrix>
- [34] PLESNÍK, Š. Syntetická vlákna. *Textilní vlákna*. HLADÍK, V., BENÍŠEK L., ČERNÝ, J.. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970, s. 241. ISBN 04-834-70. [cit. 30. 3. 2019].
- [35] MATHER, R R., WARDMAN, R H. Synthetic fibres *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R R., WARDMAN, R H. Cambridge: Royal Society of Chemistry. 2015, s: 159-165. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 14. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFEF3/chemistry-textile-fibres/physical-structure>
- [36] MATHER, R R., WARDMAN, R H. Synthetic fibres. *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, R. H. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015 s 169-184 ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 30. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFFE1/chemistry-textile-fibres/polyester--fibre-properties>
- [37] PILLER, B., LEVINSKÝ, O. *Malá encyklopedie textilních materiálů*. 2. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982, s 182. [cit. 30. 4. 2019]
- [38] MATHER, R R. WARDMAN, R H., Synthetic fibres. *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, R. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015 s 185-195. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 28. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFFM1/chemistry-textile-fibres/solvents>
- [39] MATHER, R R., WARDMAN, R. H. Synthetic fibres. *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R R. WARDMAN, R. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015 s 196-207. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 30. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFFS1/chemistry-textile-fibres/polyolefin-introduction>
- [40] DHENDE, V. P., HARDIN, I. R., LOCKLIN, J.. Durable antimicrobial textiles: types finishes and applications. *Understanding and Improving the Durability of Textiles* [online]. Edited by ANNIS, P A.. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, s 151. ISBN 978-0-85709-764-4. [cit. 3. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BS0123/understanding-improving/antimicrobial-treatments>
- [41] MATHER, R R. WARDMAN, R H. Other speciality fibres. *Chemistry of Textile Fibres* [online]. MATHER, R. R., WARDMAN, R H. Cambridge: Royal Society of Chemistry. 2015, s: 309-310. ISBN 978-1-78262-023-5. [cit. 17. 6. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFIK2/chemistry-textile-fibres/properties-pla-fibres>
- [42] PILLER, B, LEVINSKÝ, O. *Malá encyklopedie textilních materiálů*. 2. vydání Praha: Státní nakladatelství technické literatury-, 1982, s 37. [cit. 5. 2. 2019]
- [43] NAYAK R. K., PADHYA R., FERGUSSON S. Identifiacation of natural textile fibres. *Handbook of Natural Fibres, Volume 1 - Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation* [online]. Edited by KOZLOWSKI, R. Cambridge: Woodhead Publishing. 2012, s.

319-322. ISBN 978-0-85709-550-3. [cit. 19. 4. 2019] Dostupné prostřednictvím Knovel
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BS0Q01/handbook-natural-fibres/identification-methods>

[44] Katedra makromolekulární chemie, Univerzita Pardubice. Laboratorní skripta.

[45] SELKE, S. E. M., CULTER, J. D. Polymer structure and properties. *Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations* [online]. SELKE, S. E. M., CULTER, J. D. Cincinnati: Hanser Publishers. 2016, s. 68. ISBN 978-1-56990-546-3. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00CRG7Z3/plastics-packaging-properties/melting-temperature>

[46] Properties of various fibres relative to burning behaviour. *Encyclopedia of Textile Finishing* [online]. ROUETTE, H. K. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, s 72. ISBN 978-3-540-65031-7. [cit. 17. 2. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003VRQ61/encyclopedia-textile/burning-tests-fibre-identification>

[47] MCHIZUKI, M. Synthesis, properties and structure of polylactic acid. *Handbook of Textile Fibre Structure, Volume 1 - Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres* [online]. Edited by EICHHORN, S. J., HEARLE, J. W. S., JAFFE, M., KIKUTANI, T. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009, s. 263. ISBN 978-1-84569-650-4. [cit. 9. 5. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00938BQA/handbook-textile-fibre/main-types-polylactic>

[48] PLESNÍK, Š. Syntetická vlákna. *Textilní vlákna*. HLADÍK, V., BENÍŠEK L., ČERNÝ, J.. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970, s. 241. ISBN 04-834-70. [cit. 30. 4. 2019]

[49] Microscopic fibre identification after staining with Neocarmin W. *Encyclopedia of Textile Finishing* [online]. ROUETTE, H. K. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, s 35. ISBN 978-3-540-65031-7. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003VTUS5/encyclopedia-textile/fibre-bonding-identification-5>

[50] HIGSON, S. Infrared Techniques. *Analytical Chemistry* [online]. HIGSON, S. New York: Oxford University Press, 2004, s 339-340. ISBN 978-0-19-850289-0. [cit. 1. 4. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008IJYP1/analytical-chemistry/infrared-techniques-introduction>

[51] CHURÁČEK, J., KOTRLÝ S. *Analytická chemie II*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích, 1983, s. 7. [cit. 7. 3. 2019]

[52] HIGSON, S. Infrared Techniques. *Analytical Chemistry* [online]. HIGSON, S. New York: Oxford University Press, 2004, s 358-359. ISBN 978-0-19-850289-0. [cit. 7. 3. 2019]. Dostupné prostřednictvím Knovel:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008IJZK9/analytical-chemistry/gas-sampling-photometers>

[53] MOLLOY, D. F., NADTALY, M. Identification of textile fiber by IR and Raman spectroscopy. In: *39th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz)*. Tucson, 2014, s 1-2. Doi: 10.1109/IRMMW-THz.2014.6956443. [cit. 22. 6. 2019]. Dostupné prostřednictvím:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6956443&isnumber=6955975>

[54] Katedra analytické chemie UPOL. *Infračervená spektrometrie – kvalitativní a kvantitativní stanovení* [online]. Elektronický studijní materiál k předmětu Pokročilá analytická chemie. Letní semestr 2018/2019 [cit. 19. 4. 2019]. Dostupné z: <http://ach.upol.cz/user-files/files/pac-uloha-12-2014.pdf>

[55] IR Spectrum table by Frequency Range. In: *Sigma-Aldrich* [online]. © 2019 Merck [cit. 19. 4. 2019] Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/ir-spectrum-table.html>