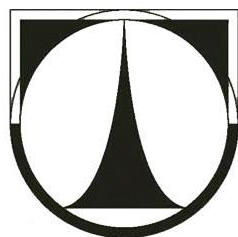


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



**STÁRNUTÍ TEXTILIÍ VLIVEM
TEPLOTY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2016

Bc. Zdeňka Bartošková Pitronová

Stárnutí textilií vlivem teploty

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Zdeňka Bartošková Pitronová**
Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.



Ageing of textile by dry heat treatment

Diploma thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Zdeňka Bartošková Pitronová**
Supervisor: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeňka Bartošková Pitronová**

Osobní číslo: **T13000134**

Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**

Studijní obor: **Produktové inženýrství**

Název tématu: **Stárnutí textilií vlivem teploty**

Zadávací 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) Vypracujte rešerši na téma stárnutí textilií
- 2) Vybrané textilie z různých polymerů vystavte dlouhodobému účinku teploty za izotermních podmínek za teplot v intervalu od 80 do 130 C
- 3) Experimentálně se zaměřte se plošné textilie z bavlny, vlny, polyamidu, polyesteru a polypropylenu
- 4) Na výše uvedených vzorcích kvantifikujte změny vlastností způsobené teplotní expozicí, sledujte barevnost, mechanické vlastnosti a změny v chemickém složení
- 5) Výsledky diskutujte z hlediska možné predikce stárnutí textilií i při nižších teplotách



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

GRALIŇSKI, M. Chemicko-technické textilní rozbory. 1. vyd. Praha: SNTL
Nakladatelství technické literatury, n. p., 1967. 288. s. L21-B3-IV-31/8765/VIII
KRČMA, L. Degradace textilních vláken a ochrana proti ní. 1. vyd. Český
Těšín: SNTL Nakladatelství technické literatury, n. p., 1976. 163. s. PV 866/77

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání diplomové práce: 24. ledna 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 8. ledna 2016

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



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

V Liberci dne 5. září 2015

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou 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.

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

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

Datum:

Podpis:

Anotace

Diplomová práce se zabývá stárnutím textilií, zejména z hlediska vlivu teploty na jednotlivé materiály. V práci jsou popsány a zkoumány vybrané materiály jak přírodní, tak syntetické. V experimentální části byly materiály vystaveny teplotní expozici po dobu až 27 dní při teplotách 80–130 °C. Na všech vzorcích byla měřena pevnost, tažnost a rozměrová stálost a na vybraných vzorcích byla provedena termická analýza, infračervená spektrometrie, elektronová mikroskopie a proměřena barevnost. V závěru práce jsou všechny tyto výsledky popsány a je zde také nastíněná možná predikce stárnutí.

Klíčová slova: Stárnutí, degradace, celulóza, teplota, textilní vlákna

Annotation

The thesis deals with the ageing of textiles, with the focus on the influence of the temperature on different textile fabrics. Chosen natural and synthetic materials are described and analyzed. In the experimental part, materials were exposed to the temperature from 80 to 130 °C up to 27 days. Stronghold, tensibility and dimensional consistency were measured on all samples. On chosen samples thermal analysis, infra-red spectrometry, electron microscopy and colorfulness measurement was performed. Results of the research are described in the conclusion and the conjecture of the ageing is outlined.

Key words: Ageing, degradation, cellulose, temperature, textile fibers

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala panu prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D., za vedení mé diplomové práce, jeho vstřícný přístup, cenné rady a připomínky při zpracování. Dále bych chtěla poděkovat paní Janě Stránské za čas, který mi věnovala při práci v laboratoři, a také své rodině za oporu, kterou mi byli po celou dobu studia.

Obsah

Seznam zkratk	11
Úvod	13
Rešeršní část	15
1. Stárnutí materiálů	15
1.1 Druhy degradací	15
1.1.1 Světelné	15
1.1.2 Chemické	17
1.1.3 Biologické	17
1.1.4 Tepelné	18
1.2 Způsoby zjišťování stárnutí	19
2. Rozdělení vláken	22
3. Změny struktury vlákna působením tepla	25
4. Přírodní vlákna	27
4.1 Papír a dřevo	27
4.1.1 Mechanické vlastnosti papíru	28
4.2 Celulózová vlákna	28
4.2.1 Bavlna	29
4.2.2 Len	31
4.3 Proteinová vlákna	31
4.3.1 Vlna	32
4.4 Vlákna z regenerovaných celulóz	32
4.4.1 Viskóza	32
4.4.2 Acetátová vlákna	33
4.5 Syntetická vlákna	34
4.5.1 Polyamidová vlákna	34
4.5.1.1 Tepelná degradace polyamidů za nepřístupu vzduchu	35
4.5.1.2 Tepelná degradace polyamidů za přítomnosti kyslíku	35
4.5.2 Polyesterová vlákna	36
4.5.3 Polypropylenová vlákna	37
4.5.4 Polyakrylonitrilová vlákna	37
Experimentální část	39
5. Použité materiály	39
5.1 Bavlněná doprovodná tkanina – ČSN 80 0101	40
5.2 Vlněná doprovodná tkanina – ČSN 80 0107	40

5.3	Doprovodná tkanina z polyesterové stříže – ČSN 80 0108	41
5.4	Doprovodná tkanina z viskóзовé stříže – ČSN 80 0100.....	41
5.5	Doprovodná tkanina z acetátového hedvábí – ČSN 80 0105.....	42
5.6	Doprovodná tkanina z polyamidového hedvábí – ČSN 80 0117.....	42
5.7	Doprovodná tkanina z polypropylenové stříže – ČSN 80 0109.....	43
5.8	Doprovodná tkanina z polyakrylonitrilové stříže – ČSN 80 0112.....	43
5.9	Len - metráž	44
6.	Průběh teplotní expozice.....	44
6.1	Sušárna Venticell 55 standard	45
6.2	Sušárna Ecocell s přirozenou cirkulací vzduchu.....	45
6.3	Sušárna Memmert UNB 400	45
7.	Zkoušení mechanických vlastností	46
8.	Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací – FTIR	47
8.1	Podmínky měření	48
9.	Měření barevnosti	49
9.1	Barevný model v počítačové grafice - RGB Model.....	49
9.2	Podmínky měření	50
10.	Elektronová mikroskopie	51
10.1	Podmínky měření.....	51
10.2	Postup měření	52
11.	Termická analýza – DSC – Diferenční kompenzační kalorimetrie	53
11.1	Postup měření	53
11.2	Přístroj	53
	Výsledky a vyhodnocení.....	54
12.	Maximální dosažená síla při přetrhu - Pevnost.....	54
13.	Tažnost při maximální dosažené síle - Tažnost	55
14.	Infračervená spektrometrie	56
15.	Měření barevnosti	62
16.	Elektronová mikroskopie	63
17.	Termická analýza – DSC	66
18.	Rozměrová stálost.....	73
19.	Analýza vlivu teploty na polyamid	74
20.	Souhrnná tabulka změn u prováděných zkoušek	78
	Závěr	79
	Seznam zdrojů.....	83

Seznam obrázků.....	88
Seznam tabulek.....	89
Seznam příloh.....	90
Přílohová část.....	91
Příloha č. 1: Výsledky měření barevnosti.....	91
Příloha č. 2: Elektronová mikroskopie.....	100
Příloha č. 3: Rozměrová stálost.....	109
Příloha č. 4: Přehled vybraných valenčních vibrací a přehled významných charakteristických deformačních vibrací.....	112
Příloha č. 5: Max. dosažená síla u všech materiálů při všech časech a teplotách.....	113
Příloha č. 6: Tažnost při max. dosažené síle materiálů při všech časech a teplotách...	116

Seznam zkratek

AC	acetát
A	předexponenciální faktor
Ag	chemický prvek stříbro
Amax	tažnost při maximální dosažené síle - tažnost
ATR	zeslabený úplný (vnitřní) odraz
Au	chemický prvek zlato
B	modrá barva
C=C	alkeny, aromáty
C=O	aldehydy, ketony amidy primární a sekundární
C≡N	kyanidové skupiny
C-H	aromatické, aldehydické skupiny
C-O	alkoholy, ethery, estery
ČSN	česká technická norma
ČSN EN ISO	označení norem převzatých od ISO (International Organization for Standardization)
Degr.	degradováno
DPI	počet bodů na palec – jednotka rozlišení rastrového obrázku
DSC	diferenční kompenzační kalorimetrie
Ea	aktivační energie
Fmax	maximální dosažená síla - pevnost
FTIR	infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací
G	zelená barva
Ge	Germanium
CH ₃	methylová skupina
IR	infračervená spektrometrie, infračervená analýza
ISO	mezinárodní norma vydaná mezinárodní organizací zabývající se tvorbou norem (International Organization of Standartization)
LED	dioda emitující světlo
N-H	sekundární aminy
O-H	alkoholy, fenoly, vázaná intermolek. H-mostem
PA	polyamid
PAN	polyakrylonitril
PES	polyester
PET	polyethylenftalát
pH	vodíkový exponent – míra kyselosti vodného roztoku
PP	polypropylen
PPS	průměrný polymerační stupeň
PS	polymerační stupeň
R	červená barva
REM	řádkovací elektronová mikroskopie

RGB	aditivní způsob míchání barev používaný pro monitory a projektory
Tg	teplota skelného přechodu, teplota zesklnění
UV	ultrafialové záření
VIS	viditelná oblast spektra – viditelné záření
WLF	Williams-Landel-Ferryho rovnice
ZnSe	selenid zinečnatý

Úvod

Stárnutí je proces, který ovlivňuje vše kolem nás, ať už to jsou živé organismy či neživé materiály. Stárnutí živých organismů se nejčastěji projevuje chátráním tělesné schránky a upadáním aktivity organismu, který postupně ztrácí schopnost nahrazovat vadné či odumřelé buňky novými. Stárnutím neživých materiálů je nejčastěji myšleno obvyklé opotřebení. U zboží, které je používáno ke každodenní potřebě, je tento proces vnímán jako zkrácení životnosti materiálů.

Tato práce se zabývá stárnutím textilií. Obecně je známo několik typů stárnutí textilií, a to např. fotochemické, tepelné, mechanické a jiné. V mnoha případech je třeba stárnutí textilií predikovat před jejich vlastní degradací. To je důležité jak pro technické, tak i pro oděvní textilie, kde nám predikce umožní odhadovat životnost výrobku. V případě běžného užití textilií je jejich životnost obvykle dostatečně dlouhá a nepředstavuje tedy limitující faktor v jejich využití. Stárnutí textilií však výrazně nabývá na významu v případě muzejnictví. V muzejních sbírkách jsou textilní artefakty skladovány po staletí a zde hraje stárnutí, a tím i poškození historické památky, klíčovou roli. Pro muzejní účely je třeba predikovat stárnutí nejen přírodních vláken, která jsou skladována a pozorována po velmi dlouhou dobu, ale také vláken syntetických, kde jejich relativní novost neumožňuje využít dosavadních zkušeností a odhadnout jejich dlouhodobé chování. Tato otázka trápí konzervátory a restaurátory textilií celosvětově a zejména z tohoto důvodu se tato práce zaměřuje na problematiku stárnutí přírodních i syntetických textilií. Cílem této práce je sledovat a analyzovat mechanické a další změny na vybraných přírodních a syntetických textiliích.

V rešeršní části této práce jsou popsány druhy degradací, způsoby jakými je možné zjišťovat stárnutí různých materiálů, dále rozdělení vláken a vlastnosti vybraných přírodních i syntetických vláken. Experimentální část popisuje, jak zjišťování degradací probíhalo. Jsou zde popsány materiály, které byly v této práci použity, což jsou materiály přírodní i syntetické, průběh teplotní expozice, při které byly materiály vystaveny teplotám 80–130 °C po dobu až 27 dní, dále jsou popsány metody měření, a to pevnosti a tažnosti na všech vzorcích. Další zkoušky jako barevnost, infračervená spektrometrie, termická analýza, elektronová mikroskopie jsou v práci popsány na vzorcích bez teplotní expozice, tedy vzorcích původních, a na vzorcích vystavené teplotní expozici po dobu 27 dní při 130 °C, tedy maximální expozici.

Všechny měření jsou shrnuty v části výsledky a vyhodnocení, kde jsou okomentovány dílčí výsledky všech měření. Dále je v práci popsána možná predikce rychlost stárnutí vybraného materiálu za konkrétních podmínek skladování.

Rešeršní část

1. Stárnutí materiálů

Výrobky z vláken jsou při používání vystaveny rozmanitým klimatickým podmínkám. Působí na ně světlo, vzduch (kyslík), složení atmosféry, teplota a vlhkost. V závislosti na těchto vlivech se mění i intenzita různých chemických a fyzikálních reakcí, které se uskutečňují ve vláknech, čímž se jejich vlastnosti mění. Tento proces je označován jako stárnutí vláken, které je možné pozorovat v přírodních podmínkách, pomocí různých modelových způsobů stárnutí pro urychlení reakcí nebo hodnocením vlivu jednotlivých parametrů (světlo, teplo, vlhkost) zvlášť. [1] V každém průmyslovém nebo obchodním použití je často těžké rozeznat jednotlivé následky těchto činitelů. Velmi často se stává, že celkový rozklad materiálu je výsledkem dvou nebo tří činitelů, které se na degradaci podílejí. [2]

Nevhodné technologické postupy, nesprávné podmínky pro skladování či špatné používání textilních výrobků mohou být důvodem jejich poškození, které bývá většinou vyvoláno narušením vlákna samého. Velikost a druh poškození závisí přitom jak na okolnostech, při kterých byl výrobek poškozen, tak i na typu vláken a jejich vlastnostech. V praxi se často setkáváme s chemickým poškozením vláken, mezi časté řadíme také poškození mechanické, termické, poškození vyvolané působením světla, hmyzu, mikroorganismů, záření apod. [3]

Rychlost stárnutí také závisí na prostředí a typu polymeru, což je látka tvořená molekulami (makromolekulami), ve které se mnohonásobně opakují jeden nebo více druhů atomů či skupin atomů. Jedním z nejagresivnějších vlivů na polymery bývá tropické podnebí, které kombinuje vysokou intenzitu slunečního záření, vysokou teplotu, vlhkost a působení mikroorganismů. [4]

1.1 Druhy degradací

1.1.1 Světelné

Jedním z významných degradačních faktorů je světlo. Stále častěji je zjišťováno, že i viditelná část světelného spektra (speciálně fialová a modrá oblast) má také dostatek

energie na degradační procesy. [5] Všechny druhy textilních vláken, přírodních i syntetických, podléhají destrukčním vlivům slunečního záření. [6]

Nežádoucí procesy vyvolané působením světelného záření jsou hromadně označovány jako fotodegradace. Pokud probíhají pouze za působení světla, říká se tomuto procesu fotolýza. Jestliže probíhají působením světla a zároveň za přítomnosti kyslíku, jedná se o fotooxidaci. Fotodegradace je proces, při kterém se díky absorpci záření zvyšuje energie molekul ozářené hmoty, čímž se zahajují chemické reakce, jejichž důsledkem je degradace materiálu. Dochází k reakcím jako je např. nárůst obsahu kyslíkatých funkčních skupin, tzv. chromoforů, a díky tomu se zvětšuje možnost pro absorpci světelných kvant, a tak se tento degradační proces stává intenzivnější. Dochází také ke štěpení makromolekulárních řetězců nebo vzniku dalších sloučenin. Důsledkem tohoto procesu jsou pak změny fyzikální a ty se projevují změnou barvy (žloutnutí až hnědnutí či vyblednutí), zkřehnutím, vznikem prasklin, tedy také změnou mechanických vlastností. Některé z těchto změn jsou jen estetického charakteru, ovšem ve většině případů se jedná o nevratné poškození. [5]

Poškozující vliv vlnových délek světla v oblasti viditelného a ultrafialového záření popisuje teoreticky odvozená veličina *míra poškození*. Celulóza, což je jeden z nejčastěji se vyskytujících polymerů v přírodě, se působením viditelného světla prakticky nemění. Při fotodegradaci ve viditelné oblasti spektra (VIS) se již mění, a to tak, že dochází k depolymeraci molekul hemicelulóz. Co se týče papíru, je lignin nejcitlivější složkou, která reaguje na světlo a kyslík, absorbuje záření při vlnových délkách 230 a 280 nm, ale obsahuje významné chromofory, které posouvají absorpci i do viditelné části spektra. Tím dochází ke štěpení rozvětvené struktury ligninu a odbourává se na středně a nízkomolekulární produkty. Takové procesy se projevují z počátku ztmavnutím barvy, která přechází na tmavší žluté až hnědé odstíny. Tato změna barevnosti je spojena se vznikem chromoforových skupin. [5] V knize [6] je popsáno, že polypropylenová vlákna nejméně odolávají slunečnímu záření. Fotodegradaci textilních materiálů způsobují i jiné světelné zdroje, které vyzařují UV záření než jen sluneční, např. fluorescenční lampa a jiné. [6]

1.1.2 Chemické

Co se týče chemické degradace, tak vedle vlivu vody jsou to také kyseliny a zásady, jež poškozují pevnost vláken do té míry, až nastává úplné znehodnocení výrobku [6]. Chemikálie mohou na polymery působit chemicky či fyzikálně. Je možné je označit jako chemicky nebo fyzikálně aktivní prostředí. O tom, jak velká bude interakce chemikálie s polymerem, a tedy jak velké bude jeho poškození, rozhoduje struktura polymeru a jeho chemické složení – podíl amorfních a krystalických oblastí, přísady – změkčovadla, nečistoty, prostředí a jeho působení. [2]

Při úpravách, kterými se dosahuje speciálních vlastností, jako je třeba nemačkavost textilií z celulózy, někdy dochází ke ztrátám pevnosti. Je potřeba uvážit, zda jsou takové úpravy potřeba a za jakých podmínek je provádět, aby měly co nejmenší vliv na degradaci. [6]

1.1.3 Biologické

Mikrobiologické vlivy působí na textilní výrobky z přírodních a syntetických vláken, které přicházejí do styku s vlhkými místy, jako je např. skladování při říční či námořní dopravě. Dá se tedy říci, že vliv mají klimatické podmínky. Jsou to především bakterie a plísňe (obrázek 1), které napadají textilní vlákna. Spory, kterými jsou plísňe rozmnožovány v suchém období, jsou velmi odolné vůči rozdílům teplot. Některé přežívají i při teplotě 100 °C. [6]

Bakterie a plísňe potřebují ke svému rozmnožování kyslík, vlhkost a vhodné pH hodnoty. Pokud jsou podmínky pro jejich rozmnožování vhodné, získávají své živiny enzymatickým štěpením ze substrátu. Plísňe při látkové výměně produkují různé kyseliny jako např. šťavelovou, mléčnou, vinnou, které vytváří různá barviva a mohou být zdrojem dalších poškození. Přítomnost plísni je možné odhalit UV světlem, které na napadených místech vyvolává intenzivně žlutou fluorescenci. [8]



Obrázek 1 Napadení knižních vazeb plísní [9]

1.1.4 Tepelné

Vliv teploty můžeme klasifikovat do dvou obecných tříd. Jedna třída zahrnuje čistě fyzikální strukturální změny v substrátu vláken, zatímco druhá zahrnuje chemické reakce. Protože teplo může pronikat skrz látku, strukturální změny by se měly vyskytovat v krystalické i nekrystalické formě vláken. [10]

Polymery, které jsou vystaveny účinku zvýšených teplot, podléhají chemickým a fyzikálně chemickým změnám, které jsou nevratné. Forma a rozsah takových změn kvantitativně i kvalitativně souvisí s chemickou strukturou polymeru, teplotou, dobou jejího působení a také s přítomností dalších fyzikálních (záření) a chemických vlivů (kyslík). Podstatou většinou bývá štěpení molekul na menší celky, a proto se pro tento děj ustálil název degradace. Ryze termické degradace, tedy ty, které probíhají pouze za účinku zvýšených teplot s vyloučením všech ostatních vlivů, jsou nejméně komplikované. Průvodní jevy, kterými se tyto degradace projevují navenek, jsou ztráta mechanických vlastností, barvy a např. uvolňování těkavých zplodin. [11]

O průběhu termické degradace polymeru rozhodují především struktura polymerního řetězce a teplota, při které k degradaci dochází. Hlavní význam pro studování kinetiky a mechanismu degradačních reakcí mají studie, které se provádí při teplotách 200–400 °C. Za těchto podmínek zpravidla dochází k výběrovému narušení polymerního řetězce, při kterém dochází k porušení jediného určitého a zároveň také nejslabšího typu vazeb. Podle toho jestli tyto vazby tvoří hlavní řetězec nebo vazby bočních substituentů, jsou rozlišovány dvě základní skupiny degradačních reakcí, a to

reakce štěpící hlavní řetězec a reakce neštěpící hlavní řetězec. Degradace probíhající při uvedených teplotách mají složitý průběh, ale vzniká při nich málo druhů konečných produktů. Na průběh reakce mají vliv také drobné změny struktury. Degradace při teplotách 500 °C a vyšších, tzv. pyrolýzy, mají za následek hluboké změny polymeru. Výsledkem jsou různorodé směsi těkavých sloučenin a jejich složení ovlivňuje podmínky degradace. [11]

Aby bylo možné porozumět čistě fyzikálním změnám ve vláknech, je třeba prozkoumat hlavní tepelné přechody polymerních materiálů. I když existuje mnoho přechodů, které mohou být identifikovány ve většině polymerních materiálů, dva nejdůležitější z nich jsou skelný přechod (T_g - glass transition), který se týká nekystalických segmentů polymeru, a tání (nebo opačný proces, krystalizace, která se týká krystalického polymeru). [10]

Jev skelného přechodu je významným faktorem pro textilní restaurátory, protože se vyskytuje za dostatečně nízkých teplot pro většinu vláken, což lze rozšířit za poměrně běžných podmínek. Důležitým důsledkem je, že textilie, které jsou za normálních podmínek příliš křehké pro zpracování, mohou být zpracovány jednodušeji dočasnou změnou ze skelného do kaučukovitého stavu. Jak bylo uvedeno dříve, může to být provedeno zahřátím na teplotu mírně nad T_g nebo plastifikací vodou, aby se jejich teplota skelného přechodu dostala na nižší hodnotu. [10]

Dalším důležitým důsledkem skelného přechodu je to, že zvýšená segmentová mobilita vykazovaná polymerními materiály při teplotách nad T_g umožňuje mnohem větší difúzi molekul prostřednictvím polymerní matrice než při teplotách pod skelným přechodem. Jinými slovy, molekuly, jako jsou např. barviva nebo laky, mohou difundovat z vláken snadněji, nebo jiné molekuly, jako jsou např. bělicí prostředky, oleje, soli, nebo detergenty mohou difundovat do vlákna snadněji. Díky tomu dochází u některých textilií při mokřím čištění k pouštění barvy (látka pouští barvu). [10]

1.2 Způsoby zjišťování stárnutí

Existují různé způsoby zjišťování a simulací stárnutí materiálů. Ať to jsou plastické hmoty, pryže nebo například papír, který je obzvláště důležitý z hlediska archivace knih či uměleckých děl. Je důležité vědět, jak se takové materiály chovají, neboť se pak dá

odhadovat jejich životnost v řádech několika let. Pro papír, což je celulózový materiál, jsou používány mezinárodní standardy, které budou mimo jiné popsány v této kapitole.

Nejčastěji používané kritérium pro hodnocení stárnutí vláken při všech způsobech pozorování je snížení pevnosti. V knize [1] je řečeno, že dle tohoto kritéria při různých podmínkách pozorování stárnutí je možné přibližně určit pořadí stability vláken, a to: polyakrylonitrilové > celulózové > polyesterové > acetátové > polyamidové > polypropylenové nestabilizované. V tomto pořadí je brán jako hlavní činitel světlo, teplo a vlhko jsou faktory podružné.

Klasifikací životností materiálů se zabývá kniha [2]. Jsou zde popsány 2 typy atmosférického stárnutí plastických hmot, a to přírodní atmosférické stárnutí a atmosférické stárnutí zrychlené. Přírodní atmosférické stárnutí vyžaduje expozici vhodně upravených vzorků ve vystavované poloze, obvykle směrem na jih pod úhlem 45 °C k horizontální rovině různě dlouhý čas. V knize se uvádí až 20 let. Vzorky se v určitých časových intervalech odebírají a vizuálně kontrolují, případně se hodnotí jejich mechanické vlastnosti.

Zrychlené testy se používají hlavně proto, aby se zkrátil čas potřebný k získání vhodných informací o odolnosti plastických hmot v čase, kdy je možné zasáhnout ještě při výrobě. Často se popisují předběžné série pokusů, při kterých se stanoví přibližná rychlost rozpadu za krátkodobou expozici. Znehodnocení se definuje jako specifická změna vzhledu, propustnosti světla, hmotnosti, délky, pevnosti při ohybu nebo nárazu a jiných vlastností. Vzorky je potom možné sledovat po delší dobu, např. 7 dní při teplotě o 30 °C nižší, než je přibližná teplota rychlého znehodnocení. V následujícím období se pak zvyšují teploty, kterými se na vzorky působí až do té doby, dokud se nezjistí maximální teplota použitelnosti. Při takovýchto zkouškách se často sleduje odolnost nejen vůči teplotě, ale i UV-záření, korozivním plynům nebo jiným agresivním činidlům. [2]

Dále jsou známy zkoušky zrychleného stárnutí pryže, o kterých se píše v textech projektu Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně [12]. Je to metoda podle Geera, která spočívá v tom, že se srovnávají vlastnosti zkušebních těles před a po vystavení účinků horkého vzduchu po určitou dobu. Z rozdílu obou hodnot a celkové změny vzhledu se usuzuje odolnost materiálu proti stárnutí. Zkoušená tělesa jsou umístěna do komory, ve které je teplota 70 °C, tak aby zabírala max. 10 % prostoru a přitom byla dostatečně vzdálena od

stěn. Zkoušený vzorek je vystaven tepelné expozici po dobu 24, 48, 72, 144 a další násobky 24 hodin. Po vyjmutí a odležení po dobu minimálně 6 a nejvíce 48 hod. se provedou srovnávací zkoušky, kde je porovnávána hlavně pevnost a tažnost.

Aby bylo možné si představit změny při dlouhodobém uložení v archivních a knihovních depozitářích v relativně krátkém časovém období, je potřeba stimulovat procesy degradace. Proto se při tzv. umělém stárnutí papíru stanovují podmínky tak, aby z jejich i krátkodobého působení bylo možné odhadnout změny, které se stanou při dlouhodobém působení za běžných vnějších podmínek. Většina zkoušek umělého stárnutí využívá toho, že zvýšená teplota urychluje chemické reakce – toto upravuje Arrheniův zákon. [13] Arrheniův model závislosti doby života výrobku na zatížení je jedním z nejčastěji používaných vztahů při provádění zrychlených zkoušek spolehlivosti, a to hlavně v případech, kde zrychlené zatížení ke stimulaci poruchy má tepelnou povahu, např. teplota. [14]

K dispozici jsou 4 normy na testování degradace papíru ISO 5630/1-4. část 1: působení suchého tepla / ošetření suchým teplem, část 2: ošetření vlhkým teplem při 90 °C a relativní vlhkosti 25 %, část 3: ošetření vlhkým teplem při 80 °C a relativní vlhkosti 65 %, část 4: ošetření suchým teplem při 120 nebo 150 °C.

Podle bývalé normy ČSN 500375 odpovídají 3 dny umělého stárnutí při teplotě 103 ± 2 °C přibližně 25 letům přirozeného stárnutí. Nyní je platný standard obdobný – jedná se o normu ISO 5630/1, kdy je teplota stanovena na 105 ± 2 °C. [13]

Podrobněji zde budou popsány normy ISO 5630/1 a ISO 5630/3, protože stárnutí dle papíru je používáno v praxi. Norma ISO 5630/1 s názvem Působení suchého tepla, popisuje postup tepelného působení takto: Pověsit jednu ze dvou sad testovaných kusů papíru (klauzule 6 – připravit 2 sady testovacích kusů podle relevantního mezinárodního standardu, pokud existuje, nebo podle jiné standardní metody, která se používá pro určení vlastností materiálu) do sušárny (4.1 – Sušárna, větraná a schopná udržet teplotu vzduchu na 105 ± 2 °C; při tomto nastavení v průběhu testu nejsou testované vzorky vystavovány světlu nebo přímé radiaci z tepelných zdrojů.) tak, aby nekontaminovaný vzduch při teplotě 105 ± 2 °C mohl proudit kolem každého testovaného kusu; ponechte testované kusy v troubě/sušárně po dobu 72 ± 1 hod. pokud možno, ale pokud je kratší čas výhodnější, délka by měla být 24 ± 1 hod. nebo 48 ± 1 hod. [15] Z této normy také vyplývá možná predikce stárnutí za běžných

podmínek, říká totiž, že 3 dny při teplotě 105 ± 2 °C znamenají 25 let přirozeného stárnutí. Dále pak 6 dní 50 let, 12 dní 120 let atd.

Druhá norma ISO 5630/3 – působení vlhkého tepla při 80 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu. Stupeň degradace se zvyšuje o 25 %, když se relativní vlhkost zvýší z 60 na 70 %. Aby byly zohledněny přirozené podmínky v mnoha zemích, kde je vysoká vlhkost a možná i vysoká teplota, je žádoucí, aby podmínky pro zrychlené stárnutí měly stejnou vlhkost jako přirozené podmínky stárnutí. Z tohoto důvodu, a po prostudování stárnutí mnoha druhů papíru při různé teplotě a relativní vlhkosti, byla vybrána teplota 80 °C relativní vlhkost 65 %. [16]

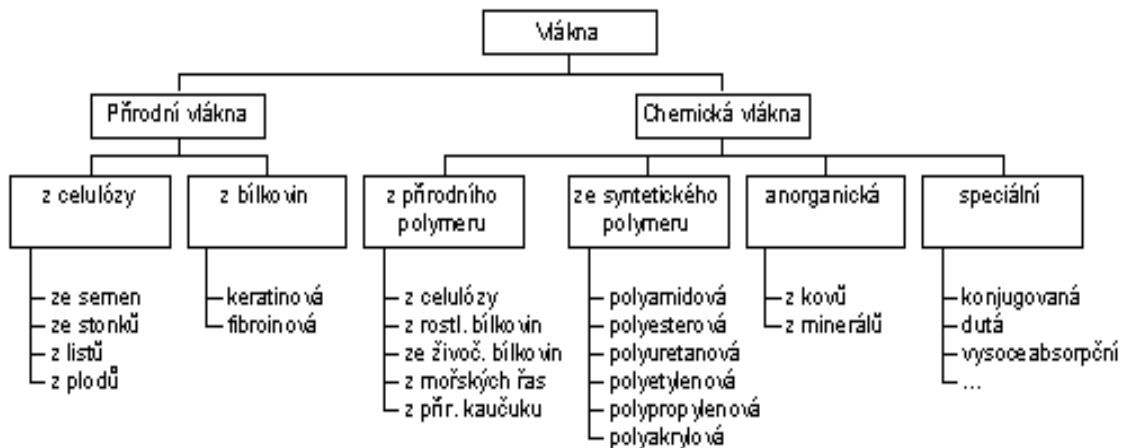
Tato práce se bude podrobněji zabývat teplotní degradací textilií při různých teplotních expozicích a bude vycházet z normy ISO 5630/1, která již byla zmíněna výše, neboť se při predikci stárnutí textilií vychází se studií, které se provádí na papíru, což je celulózový materiál.

Z různých výzkumů papíru dle ISO 5630/1 lze zmínit např. ten s názvem Investigations of paper aging – a search for archive paper (Zkoumání stárnutí papíru – hledání archivního papíru), o kterém se zmiňují autoři B. Havlínová, V. Brezová, L'. Horňáková, J. Mináriková, M. Čeppan. Byly zkoumány mechanické, optické, chemické a fyzikální vlastnosti na 5 vzorcích papíru, které byly vystaveny dle normy teplotě 105 ± 2 °C. 5 vzorků konkrétně: 1. standardní ofsetový papír, 2. kancelářský papír dle ISO STN 9706, který je prohlášený za vhodný k archivaci, 3. kancelářský papír MAESTRO classic, 4. recyklovaný kancelářský papír LPP 75 recy a vzorek 5. – ručně dělaný papír. Vzorky byly podrobeny expozici po dobu 48 dní a jednalo se převážně o zjištění trvanlivosti těchto vzorků. Nejlepší odolnost prokázal vzorek 3, tedy MAESTRO classic, a bylo tak určeno, že je možné jej používat pro archivaci. [17]

2. Rozdělení vláken

Podle svého původu se textilní suroviny dělí na dvě základní skupiny: na vlákna přírodní a chemická (obrázek 2). Mezi přírodní vlákna se řadí vlákna organická, která se dále dělí na vlákna rostlinného původu (bavlna, len, konopí, juta) a vlákna živočišného původu (vlna, přírodní hedvábí), a také vlákna anorganická (minerální), např. azbest. Co se týče vláken chemických, rozlišují se také vlákna organická a anorganická. Organická se dělí dále na vlákna z regenerovaných přírodních polymerů (celulóza, bílkoviny) a na

vlákna ze syntetických makromolekulárních polymerů. Chemická vlákna anorganická se dále dělí na vlákna křemičitá (např. skleněná) a kovová. [3]



Obrázek 2 Rozdělení přírodních a chemických vláken [18]

Textilní vlákna lze také dělit podle jiných hledisek, a to například dle původu, geometrických rozměrů, způsobu zpracování či chemického složení. Tato rozdělení mají svá opodstatnění – například pro technologii předení jsou významnější geometrické rozměry než chemické složení, a to z důvodu spřádání. Naopak při chemickém zušlechťování nejsou potřeba geometrické vlastnosti, ale je důležité znát chemické složení vlákna. Dále je zde třetí článek, a tím je spotřebitel, který nepotřebuje znát chemické složení ani geometrické rozměry, ale jsou pro něj důležité informace jako omak, hřejivost, trvanlivost a jiné. [19]

Téměř všechna textilní vlákna jsou organické, vysokomolekulární polymerní materiály. Např. bavlna, len a mnoho dalších přírodních vláken jsou složeny převážně z polymeru sacharidů s vysokou molekulovou hmotností celulózy, zatímco jiná přírodní vlákna, jako je hedvábí a vlna, jsou složena převážně z vysoko-molekulárních polymerů bílkovin. [10] Většina umělých vláken je také složena z organických polymerů o vysoké molekulární hmotnosti. Každé textilní vlákno je složitý útvar, který je složen z polymerů (tzn. makromolekul). Směs molekul, které makromolekuly tvoří, mohou dát za vznik velkému množství kombinací, které určují finální vlastnosti vláken. Struktura vlákna musí být soudržná, a proto se makromolekuly musí navzájem přiblížit. Za působení tlaku, tepla a přírodních jevů vznikají meziřetězcové vazby, tzv. sekundární.

Když se makromolekuly takto spojí, jsou vytvořeny krystalické oblasti (krystality). Krystality zvyšují pevnost a odolnost, zatímco nekystalické oblasti zvyšují např. sorpci a tažnost vláken. Orientace makromolekul a krystalitů ve vláknech je také důležitá. Pokud je průměrná orientace krystalitů ve vláknech větší než 30 %, vlákna se zhoršují vlastnosti. Ve vláknech vznikají i nekystalické oblasti, které se stávají nositelem jejich specifických vlastností. [20] Reakce stárnutí může nastat homogenně skrz celé vlákno nebo může pokračovat heterogenně, nejprve na povrchu vlákna a poté uvnitř. [10] Stárnucí reakce mohou změnit molekulové hmotnosti, krystalinitu nebo orientaci vláken. Velikost nebo tvar vlákna se mohou měnit v průběhu stárnutí. Od stárnutí vláken se dále odvíjí stárnutí celého textilního materiálu. [20] Hlavní očekávané strukturální změny, které nastanou během stárnutí, je možné zjistit z konstrukčního pohledu/struktury vlákna. [10]

V tabulce 1 a 2 z knihy [19] je uveden vliv teplého vzduchu na pevnost textilních vláken. Pevnost je zde uvedena v procentech původní pevnosti neporušeného vlákna, kterou si vlákno ponechalo po dobu působení za daných podmínek.

Tabulka 1 Vliv teplého vzduchu na pevnost textilních vláken [19]

Vlákno	Teplota vzduchu ve °C a působení v hodinách									
	122 °C					149 °C				
	1 hod	10hod	100hod	1000hod	0,1hod	1hod	10hod	100hod	1000hod	
Bavlna	85	84	53	21	-	86	50	28	degr.	
Vlna	83	115	85	103	98	94	105	75	degr.	
Přírodní hedvábí	87	100	71	degr.	93	98	75	36	degr.	
Z regenerované celulózy	97	82	31	24	98	80	65	39	degr.	
Acetátové	-	97	66	degr.	92	94	90	67	degr.	
Polyamidové	10	102	69	33	101	91	60	38	degr.	
Polyesterové	108	106	107	93	108	92	113	77	65	
Polyakrylonitrilové	105	106	106	97	97	-	107	96	degr.	

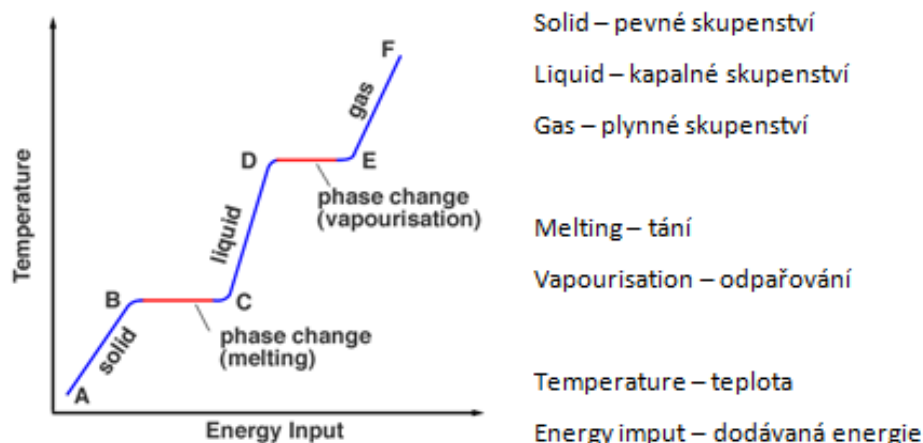
Tabulka 2 Vliv teplého vzduchu na pevnost textilních vláken [19]

Vlákno	Teplota vzduchu ve °C a působení v hodinách								
	176,8 °C			193,5 °C	204,6 °C			221,3 °C	
	0,1hod	1hod	100hod	1hod	0,001hod	0,01hod	0,1hod	1hod	0,01hod
Bavlna	100	47	degr.	22	104	125	108	20	94
Vlna	82	106	degr.	75	-	86	82	68	83
Přírodní hedvábí	76	72	-	43	95	87	-	degr.	82
Z regenerované celulózy	93	49	degr.	32	90	103	81	30	94
Acetátové	92	85	29	78	93	93	86	degr.	92
Polyamidové	102	61	21	42	105	100	86	38	102
Polyesterové	113	106	88	100	111	111	115	92	111
Polyakrylonitrilové	105	102	46	93	108	106	108	93	104

Tato práce se bude zabývat textiliemi z vláken přírodních i syntetických speciálně při působení tepla. Důvodem je zjistit jejich chování v teplotní expozici a aproximovat jejich chování v běžných teplotách.

3. Změny struktury vlákna působením tepla

Tepelné vlastnosti vláken jsou velmi důležité, neboť ve spoustě případů jsou rozhodující pro volbu vhodných parametrů zpracování a následného používání vláken. Pokud se nějaké pevné látce dodává teplo, její teplota se tím zvyšuje. Zvyšování teploty je tím větší, čím menší je specifické teplo dané látky. Tento proces pokračuje tak dlouho, dokud se skupenství látky nezmění z pevného na kapalné. [19] Na obrázku 3 jsou vyobrazeny změny skupenství látky při zahřívání z pevného na kapalné a z kapalného na plynné. Mezitím jsou zvýrazněny body tání a vypařování. Specifické teplo neboli měrná tepelná kapacita je množství tepla, které je potřeba na ohřátí 1 kilogramu látky množství o 1 teplotní stupeň (1 Kelvin či 1 stupeň celsia). [1] Dodání skupenského tepla tání je spojeno s narušením krystalové mřížky látky. Pokud je látka amorfní, skupenské teplo tání je malé. [21]



Obrázek 3 Přeměny skupenství látek [22]

Přírodní vlákna netají, ale působením tepla se rozkládají. Body rozkladu těchto vláken se udávají různě – závisí to na podmínkách zkoušení. V tabulce 3 jsou uvedeny body tání některých syntetických vláken. Při vyšších teplotách dochází k degradaci či depolymeraci vláken. V návaznosti na tabulku 3 je důležité zmínit, že vlákna shodného chemického složení, nýbrž dodána různými výrobci, mohou mít odlišný bod tání. Je to dáno polymeračním stupněm a uspořádáním molekul ve vlákně. [19]

Tabulka 3 Teplota tání a teplota skelného přechodu některých vláken [19] [23] [27]

Vlákna	Teplota tání (°C)	Teplota skelného přechodu (°C)
Acetátová	255 [27]	180 [8]
Polyamidová (PAD 6)	215 [27]	50-60 [27]
Polyesterová	248-256 [27]	70-80 [27]
Polyakrylonitrilová	netají	90 [19]
Polypropylenová	160-175 [27]	-18 [23]

4. Přírodní vlákna

Přírodní vlákna se dělí na více skupin – celulózová, keratinová, rostlinná, a jiná. Tato práce se bude zabývat vlákny především z hlediska jejich reakcí na změny teplot, neboť cílem je sledovat změny vlastností a jiná poškození textilií při dlouhodobém působení tepla.

Všechna organická přírodní vlákna při teplotách nad 100 °C prodělávají alespoň nějaké změny, které mají zásadní vliv na jejich další vlastnosti. Při nárazovém použití teplot, za kterých by se běžná organická vlákna již rozkládala, což je okolo 230–250 °C, je nutno použít speciální úpravy. [6]

4.1 Papír a dřevo

Vzhledem k tomu, že papír a dřevo jsou také celulózové materiály, jsou svým složením podobné přírodním vláknům/textiliím. Až do poloviny 19. století se papír vyráběl jen ručně a zásadně z hader. Vzhledem k tomu, že spotřeba papíru na celém světě rychle rostla, stoupající poptávku nezvládala pokrývat ani rozvíjející se strojová výroba, která nahrazovala výrobu ruční, protože nedostatek hader takovou masovou výrobu nedovoloval. Aby bylo možné rozvíjet výrobu papíru, hledaly se jiné přístupnější a levnější suroviny. Po několika pokusech se tak začalo jako surovina používat dřevo, které se zpracovávalo buď mechanicky na dřevovinu, nebo chemicky na celulózu. [24]

Z technologického hlediska je papír pevný a ohebný list plošné váhy do 180 g/m² a nevelké hrubosti. Vyrábí se ve vodním prostředí splstěním nepravidelně uložených jemných vláken rostlinného původu, jejichž základem je celulóza. K výrobě papíru je možné použít dřevěná vlákna z lýka rostlin, stébel, lodyh trav, ze semen a šupinek bavlníku, živočišné, minerální a umělá vlákna. Z vláknité papírenské suroviny, kterou je nejčastěji dřevo, stébla lodyh a travin, zpracované vhodným způsobem, tj. mechanicky nebo chemicky, případně mechanicky a chemicky, se vytvoří papírnická hmota. Tím je myšlena např. dřevovina, což je surovina, která se vyrábí mechanickou cestou, a to broušením dřevěných polen za mokra brusnými kameny. Pokud papír obsahuje dřevovinu, jsou to papíry dřevité. Dále jsou pak papíry bezdřevné, které se vyrábí z čisté technické celulózy. [25]

Jedna z podmínek jakosti papíru je jeho trvanlivost. Díky tomu, že je papír v podstatě součástí přírody, dle zákonů přírody také stárne. Pro zabránění některých fyziologických změn, které způsobují bakterie, mikroorganismy či houby, se dříve používala pryskyřice. Ale zjistilo se, že tento proces zvyšuje citlivost papíru na sluneční světlo. Na papír mají také vliv např. chemické účinky, jako je okysličování a vlhko, které rozkládají tkáň papíru, a tím se snižuje jeho pevnost. Dále, jak již bylo zmíněno, na papír nepříznivě působí sluneční paprsky, které způsobují změnu barevnosti, konkrétně známé žloutnutí. [25]

4.1.1 Mechanické vlastnosti papíru

Pevnost papíru určuje pevnost jednotlivých vláken a mezivláknenných vazeb. Ve chvíli, kdy na papír působí vnější mechanická síla, dochází k jeho deformaci – prodloužení. Při nízkých hodnotách síly, která na papír působí, je pak tato deformace vratná, přičemž závislost mezi silou a prodloužením je lineární. Papír se v tomto případě chová jako pružné těleso. Pokud se síla dále zvyšuje, klesá hodnota poměru přírůstku síly k přírůstku prodloužení. Ve chvíli, kdy síla v některém místě překročí kritickou hodnotu neboli mez pevnosti, dojde k porušení souvislosti jednotlivých vláken nebo vazeb mezi nimi. Pevnost papíru závisí v první řadě na kvalitě celulózových vláken. Obecně platí, že při jakékoli destrukci vláken dochází k jejich postupnému zkracování, a to se projevuje ztrátou pevnosti papíru. Faktory, které vedou k destrukci papíru, lze rozdělit na vnitřní a vnější. Co se týká vnitřních, patří sem již faktory z výroby samotné, a to druh, kvalita a chemické složení papíroviny, použitá barviva, klíždla a jiné. Dále je možné zmínit nečistoty zanesené do papíru z provozních vod a technologií. Hlavními vnějšími degradačními faktory jsou teplota, relativní vlhkost a čistota prostředí, světelná energie, účinek oxidů síry a dusíku a biologičtí škůdci. Lze říci, že degradace papíru je proces složitý, při kterém se vnitřní a vnější faktory navzájem stimulují. [13]

4.2 Celulózová vlákna

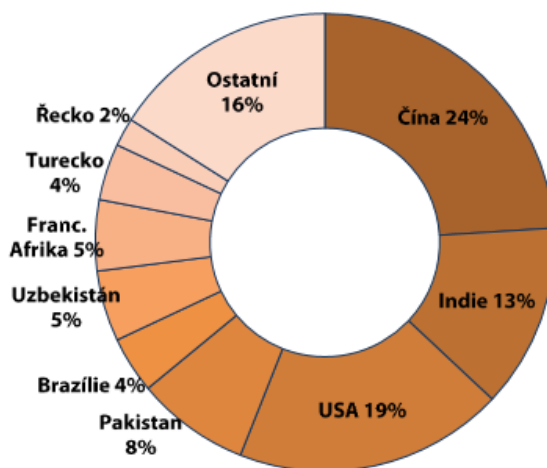
Celulózová vlákna jsou jednou z nejdůležitějších textilních surovin a je to jeden z nejčastěji se vyskytujících polymerů v přírodě. Patří mezi přírodní obnovitelné zdroje a obrovské množství se jí ročně vytváří fotosyntézou. Je to konstrukční materiál v rostlinách, ale také se vyskytuje v některých bakteriích či mořských organismech.

V bavlněných vláknech se vyskytuje v téměř čisté formě, s výjimkou absorbované vody, ale častěji je ve směsi s jinými látkami. Například suché dřevo se skládá ze 40–55 % celulózy, 15 až 35 % ligninu (látka, která se podílí na stavbě buněčných stěn) a 25–40 % hemicelulózy, což je celulóza s nižším polymeračním stupněm, doprovází celulózu ve vrstvách buněčné stěny rostlin a tvoří tak spojovací vrstvu v celulózových řetězcích, váže se na ni lignin. Pravděpodobně nejstarší využití celulózy bylo jako palivové dříví. [26]

Celulózová vlákna se dělí na vlákna přírodní a chemická. Mezi přírodní patří vlákna ze semen a vlákna z lodyh a listů. Chemická se dále rozděluje na vlákna z regenerované celulózy (viskózová a měďnatá vlákna) a vlákna z esterů celulózy (acetátová vlákna). [19]

4.2.1 Bavlna

Bavlna, která patří mezi celulózová vlákna, byla jakožto surovina používaná pro textilní materiály známá již ve starověku. [19] Bavlněná vlákna se získávají ze semen bavlníku. Nejčastěji se používá jako tkanina na prádlo, svrchní oblečení, kapesníky, ložní a stolní prádlo, nitě či obvazový materiál. [27] Na obrázku 4 je zobrazena produkce bavlny ve světě v roce 2012.



Obrázek 4 Produkce bavlny ve světě [28]

V knize [29] je uváděno, že teplota 140 °C zapříčiňuje ztrátu pevnosti až po delší expozici. Při teplotě nad 200 °C vlákno hnědne a při ještě vyšší teplotě zuhelnatí – bavlna po shoření zanechává světle šedý popel.

Autor knihy [6] říká, že bavlna je při teplotě okolo 100 °C poměrně odolná, při 120 °C se pomalu rozkládá, při teplotě 150 °C se tvoří pyrocelulóza a při 240 °C vznikají plynné zplodiny a zároveň bavlna uhelnatí. Bavlna velmi snadno hoří a odcházející dýmy vykazují slabě kyselou reakci. Ostatní celulózová vlákna se chovají obdobně. Působením suchého vzduchu od 110 °C a více na celulózová vlákna nastává rychlý úbytek pevnosti a tažnosti, zároveň se snižuje polymerační stupeň. Naopak při expozici za nižších teplot, kolem 60 °C, a i při dlouhodobé expozici touto teplotou nejsou patrné žádné změny ani v barevnosti materiálu. [6]

Pro doplnění autor Hladík v knize z roku 1970 [19] uvádí, že několikahodinové působení tepla už může způsobit malý pokles pevnosti a tažnosti, ovšem vlákno může zpátky získat svoji vlhkost, a tím se vrátí i původní pevnost. Popisuje, že k zuhelnatění při několikaměsíční expozici může dojít již při 120 °C.

Je známo, že vysoké teploty způsobují poškození celulózy. Takovéto poškození vyšší teplotou snižuje průměrný polymerizační stupeň. Tabulka 4 zobrazuje změnu hodnoty průměrného polymeračního stupně (PPS) při expozici teplem bavlny po dobu 5 hodin při uvedených teplotách. Tyto pokusy prováděl Haas. [30]

Tabulka 4 Změna hodnoty PPS při zahřívání bavlny po dobu 5 hodin při uvedených teplotách [30]

Teplota (°C)	40	60	80	100	120	140	160	180	200
PPS	512	500	512	463	383	315	241	222	191

Polymerizační stupeň (PS) je počet monomerních jednotek v molekule polymeru. [31] Bavlna je celulózové vlákno s vysokým polymerizačním stupněm, což znamená, že je odolnější vůči chemickým vlivům než regenerované celulózové vlákno. Bavlna zůstává téměř neporušená nebo je narušena jen nepatrně. [3] Stupeň polymerace je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují stárnutí celulózy. Výsledkem stárnutí celulózových materiálů je snižování stupně polymerace a díky tomu se zhoršují mechanické a optické vlastnosti celulózových textilních materiálů. [32]

Průměrný polymerační stupeň (PPS) udává průměrnou velikost molekuly, tedy průměrný počet monomerních jednotek v molekule. Hladík ve své knize Textilní vlákna

[19] uvádí průměrné polymerační stupně u různých celulóz. Např. u celulózy z egyptské bavlny je to 3 000–4 000. Novější hodnota popsaná v téže knize je 10 800 u surové bavlny. V knize z roku 1986 [33] je zmíněna metoda měření pomocí ultracentrifugy bez přístupu vzduchu a zjištěné hodnoty jsou pro bavlnu pak 11 000–15 000.

4.2.2 Len

Len vedle bavlny patří mezi nejstarší textilní suroviny. Je to jednoletá rostlina, která má jen jeden stonek a pěstuje se ze semen. Jde převážně o čistou celulózu jako u bavlny. Její obsah je 65–87 %, u lnu vyběleného až 98 %, dále obsahuje také doprovodné látky, jako jsou lignin, vosky, tuky a jiné. [29]

Lněná vlákna se získávají ze stonku, ve kterých jsou uložena v lýkových svazcích. Dle knihy [19] je vlákno velmi pevné, a to i za mokra, ovšem má malou tažnost. Lněná vlákna dobře přijímají vlhkost, a co se týče fyzikálních vlivů, chovají se podobně jako vlákna bavlněná. U lnu je také možno říci, že jeho pružnost je malá, což je příčinou zvýšené mačkavosti lněných výrobků. [29]

Dle příručky textilního odborníka [27] je len odolný až do teploty 120 °C. Při této teplotě začne ztrácet barvu.

4.3 Proteinová vlákna

Do této skupiny patří dva druhy vláken, a to přírodní a umělá proteinová vlákna. Mezi přírodní proteinová vlákna řadíme vlnu, srst a přírodní hedvábí. Do skupiny umělých proteinových vláken řadíme vlákna připravená koagulací neboli srážením rozpuštěných přírodních živočišných nebo rostlinných polypeptidů/proteinů. [19]

Tato práce se z přírodních proteinových vláken zabývá pouze vlnou. Tato vlákna mají bílkovinné složení, ze kterého vychází jejich reakce. Peptidická vazba a přítomnost karboxylových skupin a aminoskupin jsou příčinou amfoterního chování těchto vláken. Ty se pak vůči zásadám mohou chovat jako kyseliny a naopak. [19]

4.3.1 Vlna

Vlna se získává nejčastěji ze srsti ovcí. Ovčí vlna se z morfologického hlediska dělí na podsadu, pesíky, krycí srst a nepravou vlnu. Nejčastěji se používá na tkaniny pro dámské a pánské svrchní oblečení, přikrývky, pletací příze a plsti. [27]

Knihy [29] pojednává o působení tepla na vlnu tak, že teplota okolo 100 °C a vyšší ve vodném prostředí vlně škodí. Při teplotě okolo 120 °C si suchá vlna i po několikahodinové expozici nechává téměř všechny své původní vlastnosti, jak chemické, tak fyzikální. Tento názor je uveden také v knize [19]. K zásadnějším změnám dle [29] dochází až při 140–150 °C.

Autor v knize [6] konstatuje, že vlivem vlhkého horka ztrácí vlna svoji pevnost, ale stává se tím tvárnou. Je zde popsáno, že suché teplo při 100 až 106 °C působí po delší době velmi nepříznivě např. snížením tvárnosti, začne se lámat a je nepružná, což odporuje autorovi knihy [29], neboť ten říká, že při 120 °C a několikahodinové expozici si vlna stále zachová své původní vlastnosti. V suchém teple kolem 115 °C ztrácí vlna vodu chemicky vázanou, kterou již nikdy nepojme zpět. Při teplotě nad 120 °C po delší expozici hnědne. Vlna, která se suší při teplotě 100 až 106 °C přijímá zpátky z okolního vzduchu hygroskopickou vlhkost. Určitá tvrdost a drsnost jí ovšem zůstává zachována. Z toho vychází, že by se zboží z vlny nemělo sušit při teplotě vyšší než 50 až 80 °C. Vlna, která je sušena pomaleji tak neztrácí své původní vlastnosti. Všeobecně je možné říci, že vlhké teplo je pro vlnu více škodlivé než suché teplo při stejné teplotě. [6]

4.4 Vlákna z regenerovaných celulóz

Vlákna na bázi celulózy jsou nejdůležitější skupinou mezi chemickými vlákny z přírodních polymerů. Základ pro výrobu těchto vláken je kvalitní celulóza. Dříve se jako základ používaly lintery a bavlněné odpady, dnes se používá celulóza z různých dřev. [19] Převážně jde o dřevo smrkové nebo bukové.

4.4.1 Viskóza

Jde o nejrozšířenější chemické vlákno z přírodního polymeru. Viskózová vlákna se snadno zapalují, hoří i po oddálení plamene a jsou netavitelná. V textilním průmyslu se

používají všude tam, kde se používá bavlna. Teplota rozkladu viskózy je mezi 175–205 °C a je poměrně nestálá vůči vyšším teplotám. [34]

Viskózová vlákna se vyrábějí namáčením v roztoku hydroxidu sodného. Tímto vznikne z celulózy alkaliceleulóza, která se po odlisování, rozvláknění a předzrání sulfiduje sirouhlíkem při vzniku xantogenátu celulózy (oranžová hmota). Tento xantogenát pak po rozpuštění v roztoku hydroxidu sodného vytvoří roztok viskózy, který se po zrání, filtrování a odvodušnění mokrým způsobem zvláknuje na viskózová vlákna. Zvláknovací lázeň tvoří roztok kyseliny sírové a síranu zinečnatého. Viskózová vlákna se pak v plastickém stavu dluží, a pak se zbavují kyseliny, síry a dále se zušlechťují. [27]

4.4.2 Acetátová vlákna

Jedná se o vlákna z regenerované celulózy. Používá se většinou ve směsi s viskózovou stříží či jinými střížemi ze syntetických materiálů. Takovéto směsi se často používají na výrobu pánských obleků a kravat. Mohou se používat také v bytovém textilu, či na ostatní oblečení. Hedvábí se používá na nejčastěji na látky pro dámské potištěné šaty. [29]

Acetátová vlákna jsou v ohni tavitelná, snadno se zapalují a hoří i po oddálení plamene. Vyrábějí se z vysoce kvalitní celulózy, většinou z linters. [27] Vlákna jsou tvořena derivátem celulózy – acetylcelulózou. Řadí se k vláknům celulózovým, protože jsou založena na přírodním polymeru – celulóze. [19] Jednou ze základních vlastností acetátových vláken je termoplastičita, což znamená, že při zahřívání se stává tekutým a při ochlazení se stane pevným – tyto změny mohou nastávat opakovaně. Teplota tání je 255 °C, teplota měknutí 190 °C. [34]

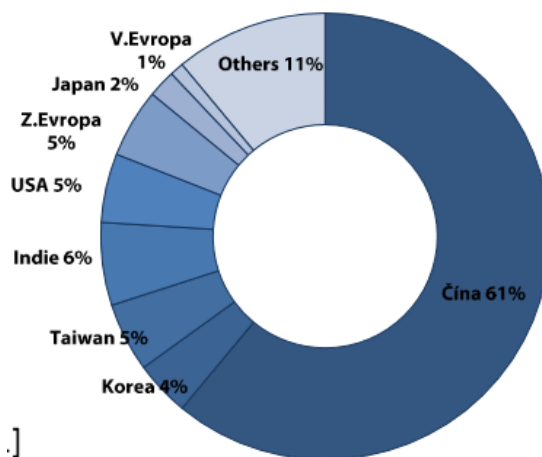
V roce 1862 A. Parkers vystavoval měkčenou celulózu na velké mezinárodní výstavě později známou jako „Parkesin“. Dřívější práce A. W. Hoffmanna z roku 1861 o materiálech vyskytujících se v přírodě ilustruje řadu základních faktorů, které platí stejně pro moderní plastické hmoty i přírodní polymery s vysokou relativní molekulární hmotností. Jeho práce upozorňuje například na to, že rozklad může souviset s absorpcí kyslíku a že teplo a někdy i světlo proces rozkladu urychlují. [2]

4.5 Syntetická vlákna

Syntetická vlákna se začala v textilním průmyslu používat v polovině třicátých let 20. století a to zavedením výroby polyvinylchloridu. Za převrat se ovšem ale dá považovat až vlákno polyamidové a to výrobou zvlákňováním z taveniny. Dále pak bylo vyvinuto vlákno polyesterové a zároveň s ním pak vlákno polyakrylonitrilové. [19]

Základním dějem při výrobě syntetických vláken je zvlákňování polymerů. Vláknotvorné polymery vytvářejí syntetická vlákna protlačováním jemnými otvory spřádacích trysek. Aby bylo možné takto postupovat, je nutné, aby byl polymer k dispozici v rozpuštěné formě nebo jako tavenina. Rozlišujeme tedy dva druhy zvlákňování, a to zvlákňování taveniny a zvlákňování roztoků polymerů, které probíhá suchým či mokřým způsobem.[19]

Co se týče tepelného rozkladu syntetických vláken na vzduchu, probíhají zde hydrolytické pochody, oxidace vzdušným kyslíkem, krakování a zesíťování. Syntetická vlákna procházejí před intenzivnějším tepelným odbouráním stadiem roztavení. Výjimku představují polyakrylonitrilová vlákna. [6] V knize [4] je řečeno, že jedny z méně odolných polymerů jsou polyamidy či polystyreny. Na obrázku 5 je zobrazena produkce syntetických vláken ve světě za rok 2012.



Obrázek 5 Produkce syntetických vláken [28]

4.5.1 Polyamidová vlákna

Polyamidové vlákno se dá považovat za první celosyntetické vlákno z nerostných zdrojů. [35] Typickými vlastnostmi polyamidových vláken jsou snadná údržba, odolnost vůči oděru a ohybu a také dobré elastické vlastnosti. Nevýhodou je nízká

teplota měknutí, která je okolo 170–180 °C. Teplota tání je 215 °C. Teplota zesílnění se pohybuje v rozmezí 50–60 °C. Hlavními polyamidovými vlákny na trhu jsou Polyamid 6 a Polyamid 66. [27]

Působením tepla na polyamid dochází k váhovému úbytku. Na vzduchu nastává zesíťování a vznikají tak trojrozměrné makromolekuly. Teplem je spouštěno několik reakcí polyamidového řetězce, které jsou charakterizovány depolymerací, reakcí koncových skupin, dodatečnou kondenzací, štěpením řetězce a sekundárními reakcemi produktů předešlého štěpení, zvláště pak hydrolyzou amidové vazby vodou. [6]

Jsou známy 2 typy teplotní degradace polyamidů, a to za nepřístupu vzduchu a za přítomnosti kyslíku.

4.5.1.1 Tepelná degradace polyamidů za nepřístupu vzduchu

Studii jen tepelné degradace polyamidu 6.6 a polyamidu 6 při teplotách okolo 150 °C prováděl G. Kamerbeek a kol. Oba typy těchto polymerů vyprodukovaly jisté množství plynů, vodu, oxid uhličitý a amoniak. K zesíťování dochází až v pozdějších stádiích. Důkazem toho je náhlý růst viskozity a obsah gelu. Tepelná degradace probíhá tedy ve dvou stupních. V prvním stupni jde o primární degradaci a ve druhém stupni o systém sekundárních reakcí. [6]

4.5.1.2 Tepelná degradace polyamidů za přítomnosti kyslíku

Za přítomnosti kyslíku probíhá degradace polyamidů už při nižších teplotách. Při dlouhodobé teplotní expozici na 100 °C, tj. pod bodem tání polyamidu, po dobu 225 hodin, dochází již k poklesu pevnosti. Viskozita roztoku polyamidu 6 v trikresolu se v takovém případě sníží na polovinu původní hodnoty. Pokud teplota ještě stoupá, je průběh takovéto destrukce intenzivnější. Zahříváním na 120 °C se barva polyamidu 6 mění z původní bílé na žlutou až světle hnědou. Pevnost se sníží cca o 30 % a tažnost na polovinu své původní hodnoty. [6]

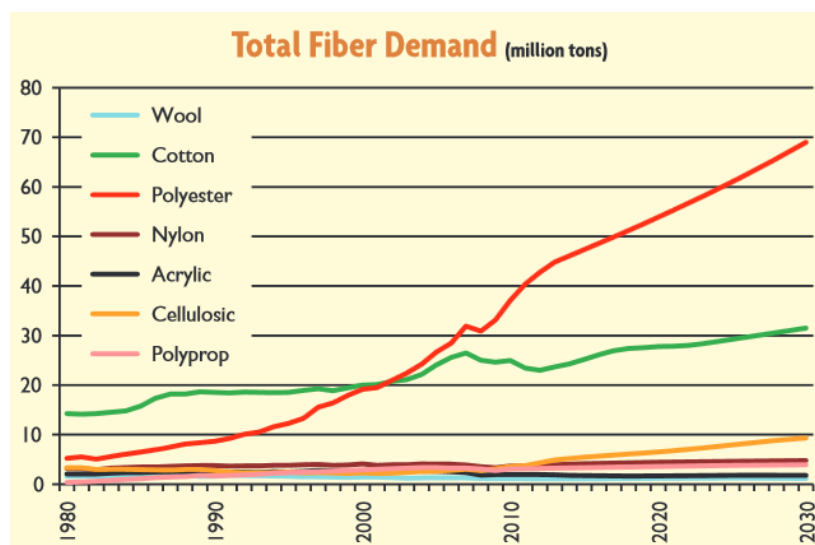
Význam tepelného zpracování syntetických vláken, obzvláště ve formě tkanin, v praxi stále roste. Jedním z hlavních technologických postupů je tzv. fixace, která se provádí na fixačních rámech horkým vzduchem. Polyamid 6 se vystavuje teplotám 170 až 195 °C, polyamid 6,6 je vystavován ještě vyšším teplotám, 210 až 240 °C. Tkaniny

tak dostávají stálý tvar, ale zároveň však dochází ke snížení pevnosti a často také výrobky žloutnou, což je u některých druhů tkanin nežádoucí. Pokud se jedná o jemnou polyamidovou tkaninu, ztráta pevnosti může být až 50 %. [6]

4.5.2 Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna zaujímají první místo mezi syntetickými materiály (47,5 % podíl na objemu výroby syntetických vláken). Termín polyesterová vlákna se používá převážně pro vlákna vyrobená z PET (polyethyltereftalát). Z typických vlastností polyesterových vláken je možné zmínit jednoduchou údržbu, velkou odolnost v oděru a tvarovou stálost a plný omak. [27]

Na obrázku 6 je zobrazen vývoj poptávky po textilních vláknech. Jde vidět, že se výrazně zvyšuje poptávka po syntetických materiálech, speciálně po polyesteru. Druhým nejpoptávanějším materiálem je bavlna jakožto přírodní materiál.



Obrázek 6 Vývoj poptávky textilních vláken [36]

Polyesterové vlákno má až trojnásobně větší pevnost než vlna. Tažností převyšuje ostatní vlákna a za mokra se její hodnota nemění. Měknout začíná při teplotě 230–240 °C a taví se při teplotě 250–260 °C. [35] Teplota zesklnění se pohybuje v rozmezí 70–80 °C. Do teploty ve výši 80 °C jsou vlákna z polyesteru tvarově stálá.

[27] Polyester má velký význam pro pletářský průmysl. První průmyslově vyrobené polyesterové vlákno bylo pod názvem TERYLEN v roce 1947 ve Velké Británii. [35]

Pyrolytický rozklad polyesterových vláken může probíhat za různých teplot. Na základě výše teploty se mění i procentuální složení plyných zplodin. Teplotní degradace polyesteru (polyethyltereftalátu) probíhá za vlhka mnohem rychleji než v suchém prostředí. U vlhkého polyethyltereftalátu probíhá rychlé hydrolytické štěpení již za teploty tání a během několika minut je dosaženo rovnovážného stavu. Teplota vznícení je u polyesterových vláken asi o 100 °C vyšší než u vláken z celulózy. [6]

4.5.3 Polypropylenová vlákna

Polypropylenová vlákna se mohou vyrábět zvlákňováním z roztoku i z taveniny. Zvlákňování z roztoku je ovšem ekonomicky nevýhodné a tak se používá zvlákňování z taveniny. [19] Polypropylenová vlákna se používají převážně na bytové a technické textilie, k výrobě ochranných oděvů, sítí, lan, filtračních materiálů a jiných. Ve směsi s celulózovými vlákny se používají také na oděvy. Teplota tání se pohybuje v rozmezí 160–175 °C, teplota měknutí v rozmezí 140–160 °C. [27]

Při teplotní destrukci polypropylenu v inertní atmosféře (nereagující s jinými prvky) nebo ve vakuu se snižuje molekulová hmotnost polymeru za současného vzniku těkavých produktů. Rychlost teplotní degradace není závislá na molekulové hmotnosti polypropylenu. Při rozkladu 50 % polymeru na plyné složky při teplotě 387 °C vznikne jen 0,2 % monomeru. Pyrolýzou polypropylenu při teplotě 380 až 410 °C vznikají: penten, buten, butan, a jiné. [6]

4.5.4 Polyakrylonitrilová vlákna

V textilním průmyslu mají význam hlavně díky vysoké odolnosti proti fotodestrukci a velkou stálost vůči povětrnostním vlivům. [19] Jejich výhoda také spočívá v univerzálním použití na vrchní ošacení a bytové textilie, protože tato vlákna mají široké možnosti úprav základních vlastností. Z typických vlastností je dále možné zmínit vysoký tepelně izolační účinek a snadná údržba výrobků z nich. [27] Akrylonitril polymeruje v roztocích bez potíží, avšak polymer zvyšováním teploty netaje, ale při 350 °C podléhá termickému rozkladu, proto ho lze zvlákňovat pouze z roztoků. [19] Dle

knihy [6] mají PAN vlákna vynikající odolnost proti teplu do 130 °C. Při této teplotě nebyly pozorovány pevnostní ztráty ani změny v barevnosti.

Experimentální část

5. Použité materiály

V praktické části byly použity standardizované doprovodné tkaniny pro zkoušení stálobarevností textilií. Doprovodná tkanina je vlastně malý odstříh nevybarvené tkaniny z jednoho nebo několika druhových skupin vláken. Používají se pro hodnocení zapouštění. Takovéto tkaniny jsou plátňové vazby, střední hmotnosti na jednotku plochy, pokud není jinak předepsáno. Nesmí obsahovat chemicky poškozená vlákna, zbytky chemikálií, barviv a opticky zjasňující prostředky. K těmto normalizovaným tkaninám byl dokoupen v běžně dostupném obchodě s látkami len, který má také plátňovou vazbu a plošnou hmotnost 230 g/m^2 (tabulka 5). Rozměr zkoušených tkanin je $30 \times 12 \text{ cm}$. V této práci byly použity dva druhy vlákenných materiálů a to stříž a hedvábí. Jako stříž se označují krátká vlákna. Přírodní i syntetická střížová vlákna nemají všechny stejnou délku. Jejich délka se charakterizuje délkou střední a staplovým diagramem, který vyjadřuje rozdělení četnosti vláken různé délky. Jako hedvábí se označují nekonečná chemická vlákna.

Tabulka 5 Seznam použitých tkanin a jejich normy [vlastní zpracování]

Druh tkaniny	Norma ČSN
Bavlněná doprovodná tkanina	80 0101
Vlněná doprovodná tkanina	80 0107
Doprovodná tkanina z polyesterové stříže	80 0108
Doprovodná tkanina z viskózové stříže	80 0100
Doprovodná tkanina z acetátového hedvábí	80 0105
Doprovodná tkanina z polyamidového hedvábí	80 0117
Doprovodná tkanina z polypropylenové stříže	80 0109
Doprovodná tkanina z polyakrylonitrilové stříže	80 0112
Len – zakoupený jako metráž	

5.1 Bavlněná doprovodná tkanina – ČSN 80 0101

Základní materiál (vlákenný materiál) k výrobě bavlněné doprovodné tkaniny je bavlna. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Parametry bavlněné doprovodné tkaniny [37]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze, tex	Osnova	20
	Útek	25
Zákruty příze, m ⁻¹	osnova	Z 896
	Útek	Z 747
Dostava, cm ⁻¹	Osnova	32 ± 2 %
	Útek	26 ± 2 %
Vazba		plátňová
Plošná hmotnost, g.m ⁻²		125 ± 5
Bělost v %		min. 85

5.2 Vlněná doprovodná tkanina – ČSN 80 0107

Základní materiál k výrobě vlněné doprovodné tkaniny je vlákenný materiál 100% vlněný česanec režný. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka 7 Parametry vlněné doprovodné tkaniny [38]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze, tex	Osnova	19 tex × 2
	Útek	19 tex × 2
Zákruty příze, m ⁻¹	Osnova	Z 600, S 540
	Útek	Z 600, S 540
Dostava, cm ⁻¹	Osnova	22 nití ± 2 %
	Útek	20 nití ± 2 %
Vazba		plátňová
Plošná hmotnost, g. m ⁻²		160 ± 6
Bělost v %		min. 55

5.3 Doprovozná tkanina z polyesterové stříže – ČSN 80 0108

Základním vlákněným materiálem k výrobě této tkaniny je polyesterová stříž B typu. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka 8 Parametry doprovodné tkaniny z polyesterové stříže [39]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze, tex	Osnova	20 tex × 2
	Útek	20 tex × 2
Zákruty příze, m ⁻¹	Osnova	Z 800 jednoduchá S 450 skaná
	Útek	Z 800 jednoduchá S 450 skaná
Dostava, cm ⁻¹	Osnova	21 ± 2 %
	Útek	18 ± 2 %
Vazba	plátňová	
Plošná hmotnost, g.m ⁻²	165 ± 5	
Bělost v %	min. 70	

5.4 Doprovozná tkanina z viskózové stříže – ČSN 80 0100

Základní materiál k výrobě viskózové stříže je viskózová stříž B typu. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9 Parametry doprovodné tkaniny z viskózové stříže [40]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze, tex	Osnova	25
	Útek	25
Zákruty příze, m ⁻¹	Osnova	Z 660
	Útek	Z 660
Dostava, cm ⁻¹	Osnova	29 ± 2 %
	Útek	24 ± 2 %
Vazba	plátňová	
Plošná hmotnost, g.m ⁻²	min. 120	
Bělost v %	min. 70	

5.5 Doprovodná tkanina z acetátového hedvábí – ČSN 80 0105

Základním vlákněným materiálem k výrobě této tkaniny je lesklé acetátové hedvábí. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka 10 Parametry doprovodné tkaniny z acetátového hedvábí [41]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze, tex	Osnova	11
	Útek	17
Zákruty příze, S/m	Osnova	200 S
	Útek	200 S
Dostava, nt/10cm	Osnova	735 ± 15
	Útek	280 ± 8
Vazba	pětivazný atlas	
Plošná hmotnost, g.m ⁻²		min. 122 ± 6
Bělost v %		min. 70

5.6 Doprovodná tkanina z polyamidového hedvábí – ČSN 80 0117

Tato tkanina je z polyamidového hedvábí matového na bázi Polyamidu 6. Další parametry této tkaniny jsou uvedeny v tabulce č. 11. Jemnost hedvábí je 14 tex.

Tabulka 11 Parametry doprovodné tkaniny z polyamidového hedvábí [42]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost	Osnova	67 dtex f 12
	Útek	133 dtex f 32
Zákruty příze, S/m	Osnova	t0
	Útek	Z130
Dostava, nt/1cm	Osnova	63 ± 2 %
	Útek	27 ± 3 %
Vazba	plátňová	
Plošná hmotnost, g.m ⁻²		min. 81 ± 5
Bělost v %		min. 75

5.7 Doprovodná tkanina z polypropylenové stříže – ČSN 80 0109

Tato tkanina je z polypropylenové stříže B typu. Další parametry této tkaniny jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka 12 Parametry doprovodné tkaniny z polypropylenové stříže [43]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze	Osnova	15 tex × 2
	Útek	15 tex × 2
Zákruty příze, S/m	Osnova	Z 700, S 700
	Útek	Z 700, S 700
Dostava, nt/10cm	Osnova	225 ± 6
	Útek	150 ± 4
Vazba		plátňová
Plošná hmotnost, g.m ⁻²		min. 125 ± 5
Bělost v %		min. 75

5.8 Doprovodná tkanina z polyakrylonitrilové stříže – ČSN 80 0112

Základním vlákněným materiálem k výrobě této tkaniny je polyakrylonitrilová stříž B typu. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Tabulka 13 Parametry doprovodné tkaniny z polyakrylonitrilové stříže [44]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze	Osnova	15 tex × 2
	Útek	15 tex × 2
Zákruty příze, S/m	Osnova	Z 780, S 700
	Útek	Z 780, S 700
Dostava, nt/10cm	Osnova	225 ± 6
	Útek	170 ± 4
Vazba		plátňová
Plošná hmotnost, g.m ⁻²		min. 125 ± 5
Bělost v %		min. 75

5.9 Len - metráž

Tkanina ze lnu byla do této práce zakoupena jako metráž, neboť nebyla dostupná jako standardizovaná tkanina. Parametry, které z ní byly vypočítány, jsou zapsány v tabulce č. 14.

Tabulka 14 Parametry lněné tkaniny zakoupené jako metráž [vlastní zpracování]

ZNAK		HODNOTA ZNAKU
Jemnost příze, tex	osnova	64
	útek	62
Dostava, nt/1cm	osnova	15
	útek	18
Vazba		plátňová
Plošná hmotnost, g.m ⁻²		230

6. Průběh teplotní expozice

Připravené textilní vzorky byly vloženy do laboratorních sušáren (obrázky 7-9). Expozice vzorků byla rozdělena na 2 části vzhledem k náročnosti na kapacitu přístrojů. V první byly zapnuty 3 laboratorní sušárny s teplotami 80 °C, 100 °C a 120 °C. V druhé části byly zapnuty tytéž sušárny s teplotami 90 °C, 110 °C a 130 °C. Tyto teploty byly vybrány na základě normy ISO 5630/1, stárnutí papíru suchým teplem, kde je teplota zkoušení určena na 105 °C. V této práci byly zvoleny teploty nad i pod touto doporučenou teplotou. Je známo, že při nízkých teplotách se degradační procesy téměř neprojeví, proto nebyla zvolena teplota nižší než 80 °C. V horních intervalech teploty bylo uvažováno to, že materiály se při vysokých teplotách rozpadají, taví, případně mohou vzplanout. Proto byla stanovena nejvyšší teplota 130 °C.

Vzorky byly ze sušáren vytahovány v předem stanovených časech a to 1 den, 2 dny, 3 dny, 4 dny, 5 dní, 6 dní, 8 dní, 16 dní, 23 dní a 27 dní ode dne vložení vzorků do sušáren. Tyto časy byly zvoleny opět na základě normy ISO 5630/1, kdy je známo, že 3 dny při tepelném působení 105 °C na papír simulují 25 let přirozeného stárnutí. 6 dní 50 let atd. Tedy 24 dní simuluje cca 200 let, proto jsme konečnou dobu pokusů stanovili na 27 dní.

6.1 Sušárna Venticell 55 standard

- přesná laboratorní sušárna
- patentovaný systém nucené cirkulace vzduchu v komoře zajišťuje homogenní rozložení teploty ve všech procesech sušení, ohřívání a sterilizace materiálů v laboratořích
- přesnost nastavené teploty 0,3 °C
- teplotní rozsah od +10 °C nad okolí do 250 °C / 300 °C[45]



Obrázek 7 Sušárna Venticell 55 standard [vlastní zpracování]

6.2 Sušárna Ecocell s přirozenou cirkulací vzduchu

- přesná laboratorní sušárna s širokým teplotním rozsahem, spolehlivým a přesným průběhem procesů ohřevu a sušení materiálů.
- přesná regulace a krátké časy vyrovnání teploty po otevření dveří
- přesnost nastavené teploty 0,3 °C
- teplotní rozsah: od 5 °C nad okolní teplotou do 250 °C / volitelně do 300 °C [46]



Obrázek 8 Sušárna Ecocell s přirozenou cirkulací [vlastní zpracování]

6.3 Sušárna Memmert UNB 400

- digitální LED-displej zobrazující nastavenou a aktuální teplotu a také zbývající čas do konce procesu
- přesnost nastavené a aktuální teploty 0,5 °C
- teplotní rozsah od +30 °C (vždy min. 5 °C nad okolní teplotu) do 220 °C [47]



Obrázek 9 Sušárna Memmert UNB 400 [vlastní zpracování]

7. Zkoušení mechanických vlastností

Při zkoušení mechanických vlastností jde většinou o zjištění meze pevnosti. Příze je v těchto zkouškách zatěžována až do destrukce – přetrhu vzorku. Na všech vzorcích, a to jak vzorcích původních tedy před teplotní expozicí, tak i po teplotních expozicích, tedy při teplotách 80, 90, 100, 110, 120 a 130 °C v časech 1–27 dní, byla měřena maximální dosažená síla (F_{max}) a tažnost při maximální dosažené síle (A_{max}), což je podélná trvalá deformace vyjádřená v %.

Přístroj: LabTest 2.010. dle ČSN EN ISO 5079

Z každé textilie bylo připraveno celkem 5 přízí o délce 300 mm. Vzorek byl upnut do čelistí, upínací délka činila 100 mm a rychlost posuvu byla zvolena 50 mm/min. Testovací přístroj je připojen k počítači s nainstalovaným softwarem LabTest v.3 od společnosti LaborTech, s. r. o. (obrázek 10), který celý průběh zkoušky zaznamenává a vyhodnocuje její výsledky.



Obrázek 10 LabTest 2.010
[vlastní zpracování]

Výstupní položky

- **Maximální dosažená síla** (pevnost), F_{max} [N]
- **Tažnost** při maximální dosažené síle, A_{max} [%]

Z důvodu množství dat nebylo možné provádět analýzu přesně dle ČSN EN ISO 2062 – *Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu pomocí přístroje s konstantní rychlostí prodloužení* a ani dle ČSN EN ISO 13934-1 *Tahové vlastnosti plošných textilií – Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip*. Na měření pevnosti jsou standardně potřeba definované velikosti vzorků, které jsme nebyli schopni zajistit. Pro měření dle ČSN EN ISO 2062 jsou to upínací délky 500 mm a výjimečně 250 mm. Dle ČSN EN ISO 13934-1 je to šířka 50mm ± 0,5 mm a délka 200 mm a trhají se vzorky 5 krát ve směru osnovy a 5 krát ve směru útku. Vzhledem k tomu, že byly použity tkaniny přesně definovaných rozměrů, které jsou menší, než je potřeba pro standardní zkoušky, byly použity zkoušky

co možná nejbližší, a aby bylo možné použít alespoň nějaké statistické zpracování, tak byla pevnost měřena na jednotlivých přízích při upínací délce 100mm. Byly proměřovány pouze osnovní příze, neboť proměření útkových přízí neumožňovala geometrie použitých standardizovaných vzorků. Ovšem předpokládá se, že se příze ve směru útku budou chovat stejně jako v osnově. Důvodem zvolení standardizovaných vzorků o velikosti $\pm 300 \times 120$ mm byla škála materiálů v podobných plošných hmotnostech, díky čemuž bylo možné výsledky mezi sebou porovnávat. Materiály byť větších rozměrů, ale nestandardizované či od různých výrobců by se nedaly porovnávat. Bylo zohledněno i možné poškození přízí při jejich „párání“ z tkaniny, ovšem vzhledem k tomu, že byly všechny příze získány za stejných podmínek, nepředpokládá se negativní ovlivnění zkoušek. Při trhání nebylo zadáváno předpětí, neboť nebylo možné předem určit, jak bude příze teplotní expozicí poškozena.

Charakteristika křivky při zkoušení mechanických vlastností (obrázek 11):

0 – počátek

0-P – oblast pružných deformací. Takováto deformace se po uvolnění napětí vrátí zpět

P – mez pružnosti. Nad tímto bodem se začínají projevovat nevratné deformace

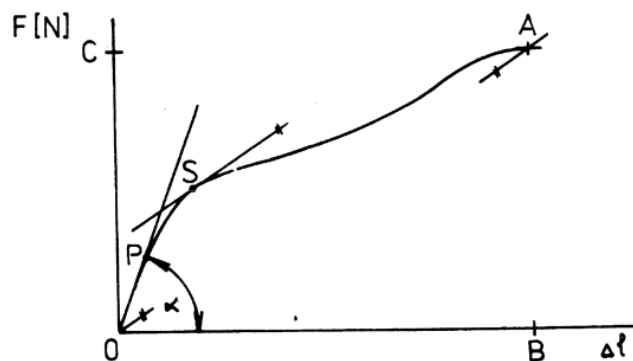
S – počátek kluzu

A – bod destrukce

C – maximální síla F_{max}

B – deformace při přetrhu

0-A – tuhost vlákna[48]



Obrázek 11 Charakteristika křivky při zkoušení mechanických vlastností [48]

8. Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací – FTIR – Infračervená analýza

Infračervená spektrometrie (IR) slouží k identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a dále také ke stanovení anorganických látek. Principem IR

spektrometrie je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem. Uvnitř dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změně dipólového momentu molekuly.[49]

Při infračervené spektrometrii s Fourierovou transformací (FTIR) se signál získaný interferencí (neboli vzájemným ovlivněním) převede matematickou operací – Fourierovou transformací – na infračervené spektrum. Základem spektrometru je např. Michelsonův interferometr. Princip takového interferometru spočívá v tom, že záření ze zdroje dopadá na polopropustný dělič paprsků, který jednu polovinu paprsků propustí k pohyblivému zrcadlu a druhá polovina se odráží směrem k zrcadlu pevnému. Paprsky se od obou zrcadel, která jsou vzájemně kolmá, zpětně odrážejí a na děliči paprsků se podle toho, v jaké poloze se nachází pohyblivé zrcadlo, sčítají nebo odečítají, což znamená, že dochází k interferenci. Jak se mění optický dráhový rozdíl obou paprsků, generuje signál, který dopadá na detektor – interferogram. [50]

8.1 Podmínky měření

Přístroj: Infračervený mikroskop iN10 MX s vedlejším vzorkovacím prostorem iZ10 FTIR (obrázek 12)

- Infračervený mikroskop s Fourierovou transformací
- Nedestruktivní zkoušení textilií
- Přístroj pracuje ve střední oblasti IČ záření $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$
- Velikost vzorků již od $10 \mu\text{m}^2$
- Využití techniky měření na průchod paprsku, prostou reflexi či ATR
- Vedlejší vzorkovací prostor měří na průchod paprsku či na jednoobrazovém ATR nástavci (ZnSe, Ge krystaly) [51]



Obrázek 12 Infračervený mikroskop iN10 MX s vedlejším vzorkovacím prostorem iZ10 FTIR [51]

Tabulka 15 a 16 zobrazuje vlnočty, dle kterých byly vyhodnocovány grafy infračervené analýzy v kapitole č. 14. Kompletní vlnočty jsou uvedeny v příloze č. 4.

Tabulka 15 Přehled vybraných valenčních vibrací [52]

Absorbující vazba	Přibližný vlnčet (cm^{-1})
O-H (alkoholy, fenoly, vázaná intermolek. H-mostem)	3500 - 3100
O-H (alkoholy, fenoly, vázaná intermolek. H-mostem)	3400 - 2500
C-H (aromatické)	3050 - 2950
C-H (aldehydické)	2900 - 2700
$\text{C}\equiv\text{N}$	2270 - 2200
C=O (amidy primární)	1690 - 1600
C=O (amidy sekundární)	1700 - 1670 a 1550 - 1500
C=O (aldehydy, ketony)	1740 – 1695
C=C (alkeny)	1680 - 1640
C=C (aromáty)	1600 - 1500
C-O (alkoholy, ethery, estery)	1300 - 1100

Tabulka 16 Přehled vybraných významných charakteristických deformačních vibrací [52]

Absorbující vazba	Přibližný vlnčet (cm^{-1})
N-H (sek. aminy)	1580 - 1480
CH_3	1370 - 1360

9. Měření barevnosti

Měření barevnosti spočívá pořízení barevných obrázků zkoumaných textilií a porovnávání změn barevnosti dle barevného modelu v počítačové grafice (obrázek 13).

9.1 Barevný model v počítačové grafice - RGB Model

Barevné modely v počítačové grafice udávají způsoby míchání a zobrazování barev na počítačových monitorech či při tisku na tiskárnách.

Základní barvy jsou:

R – Red (červená)

G – Green (zelená)

B – Blue (modrá)

Spektrální složky těchto tří základních barev se skládají dohromady (aditivní míchání) a tím udávají výslednou barvu. Princip použití na monitorech spočívá v tom, že tři barevné paprsky rozsvěcují body, které leží těsně u sebe. Tyto jednotlivé barevné paprsky mají rozsah 0–255, kdy [0,0,0] je barva černá a [255,0,0] je barva červená. Smícháním všech tří barev tedy červené, zelené a modré vzniká barva bílá [255,255,255]. [53]

9.2 Podmínky měření

Přístroj: HP Scanjet 4850

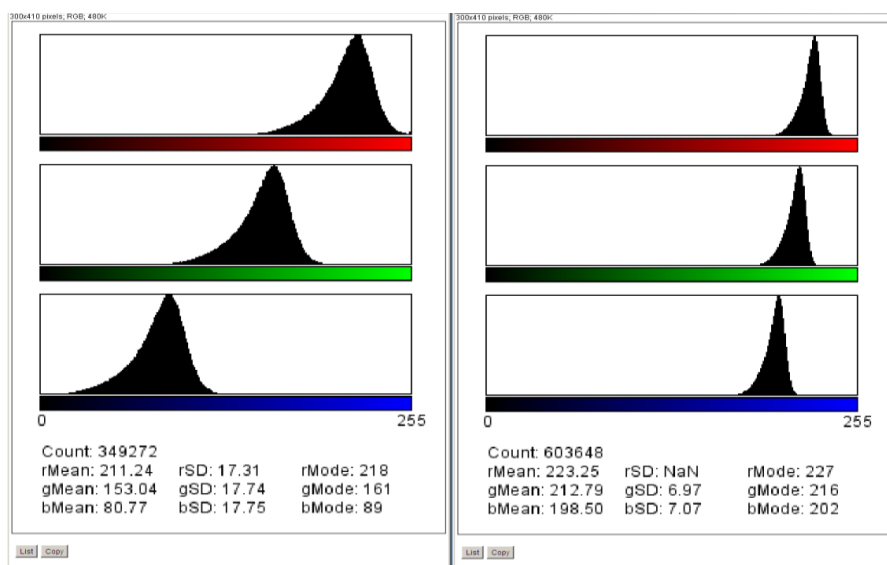
- plochý scanner formátu A4
- optické rozlišení je 4800×9600 dpi při 48bitových barvách

Program: ImageJ 1.40g, Wayne Rasband, National Institute of Health, USA, Java 1.6.0_05

Nastavení:

- Barevný obrázek
- Jas -1000
- Kontrast +300
- Rozlišení 300 DPI

Vzhledem k tomu, že u zkoumaných vzorků se jako nejproměnlivější hodnota projevila barva modrá, budou vzorky posuzovány a hodnoceny dle změn, které se udály v rámci barvy modré. Červená a zelená barevná spektra nejsou tak citlivá. Tím, že materiál žloutne, se mění typické vlnové délky.



Obrázek 13 Ukázka počítačové grafiky – RGB modelu [vlastní zpracování]

10. Elektronová mikroskopie

Elektronová mikroskopie se používá pro studium struktury vláken. Jsou známy dvě metody elektronové mikroskopie a to:

- Klasická transmisní elektronová mikroskopie – její princip spočívá v průchodu toku elektronu přes preparát nebo kovovou repliku. Má sice velkou rozlišovací schopnost, ale při přípravě preparátu je potřeba podstatná úprava vlákna, což může narušit původní strukturu vlákna. Z toho důvodu se častěji používá postup přes kovovou repliku, ale tento postup je časově velmi náročný.
- Řádkovací (rastrovací) elektronová mikroskopie – její princip spočívá ve využití vysílaných elektronů povrchem zkoumaného vlákna či jiného preparátu. V dnešní době se využívá prakticky jen řádkovací elektronová mikroskopie (REM) a to hned z několika důvodů. Možnost přímého pozorování vzorků, nenáročná příprava preparátu, dostatečná rozlišovací schopnost, hloubka ostrosti je až 300krát vyšší než u klasické mikroskopie, obzvláště při malém zvětšení je obraz plastický. [54]

V této práci byla použita řádkovací elektronová mikroskopie (obrázek 14).

10.1 Podmínky měření

Přístroj: rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130 od společnosti TESCAN

- Počítačem plně řízený elektronový mikroskop.
- Používá se k pozorování povrchů při velkém zvětšení, s velkou hloubkou ostrosti, k zaznamenání a archivaci zvětšených obrazů ve standardním obrazovém formátu na různá záznamová media.
- Nutnost naprašování vzorku vodivou vrstvou kovu (Au, Ag, atd.)
- **Parametry:**
 - Rozlišení: 3,5 nm
 - Zvětšení: 20 až 500 000
 - Urychlovací napětí: 0,5 až 30 kV [55]



Obrázek 14 Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130 [56]

10.2 Postup měření

Elektrony dopadají na povrch zkoumaného vlákna a při tomto dopadu nastává odraz části primárních elektronů, dále také částečná absorpce ve vnějších hladinách elektronového obalu molekul, díky čemuž vzniká excitovaný stav, který vyvolává druhotnou emisi elektronů. Ke zjištění informací o povrchu jsou nejdůležitější vysílané elektrony zachycené ve sběrném systému elektronů, který je umístěn u preparátu. Sběrný systém má čelní mřížku s kladným předpětím 12 kV, což zaručuje urychlení sekundárních elektronů. Plastičnost obrazu je ovlivněna úhlem dopadu primárních elektronů na povrch vlákna. [54]

Struktura a geometrie vláken je hodnocena z fotografických snímků, na kterých jsou zobrazeny části zkoumaného vlákna, které se mají popisovat. Při takovémto zobrazení je známo přesné zvětšení. Tato metoda se využívá především ke sledování morfologické struktury, případně i rozměrů mikrofibril. [54]

11. Termická analýza – DSC – Diferenční kompenzační kalorimetrie

Pomocí termické analýzy se měří chemické a fyzikální vlastnosti. Pomocí DSC metody se měří tepelná energie nutná ke kompenzaci rozdílu teplot mezi vzorkem a referenční látkou. Jako příklad využití je možné zmínit měření teploty tání, skelného přechodu, krystalizace či například tepelného zbarvení. [57]

11.1 Postup měření

Při této metodě se vzorek vystavuje lineárnímu ohřevu a rychlost tepelného toku vzorkem se plynule měří. Rychlost tepelného toku je úměrná okamžitému měrnému teplu. Teplota vzorku je při tomto měření udržována izotermní se vzorkem srovnávacím pomocí dodání tepla do vzorku srovnávacího. Množství tepla, které je potřebné k udržení izotermních podmínek, je zapisováno v závislosti na čase nebo na teplotě. Měří se tedy elektrický příkon potřebný k udržení těchto izotermních podmínek. Používají se malé vzorky, které jsou umístěny na kovové folie, čímž se minimalizuje tepelný spád. Díky malé tepelné kapacitě celého systému je možno použít velké rychlosti ohřevu a také je tímto zajištěno velké rozlišení. Množství uvolněného tepla je úměrné množství elektrické energie, která byla spotřebována na zahřátí vzorku. Proto se nazývá metodou kalorimetrickou. [58]

11.2 Přístroj

Diferenční skenovací kalorimetr (DSC) firmy Perkin elmer (obrázek 15).



Obrázek 15 Diferenční skenovací kalorimetr DSC Perkin Elmer [59]

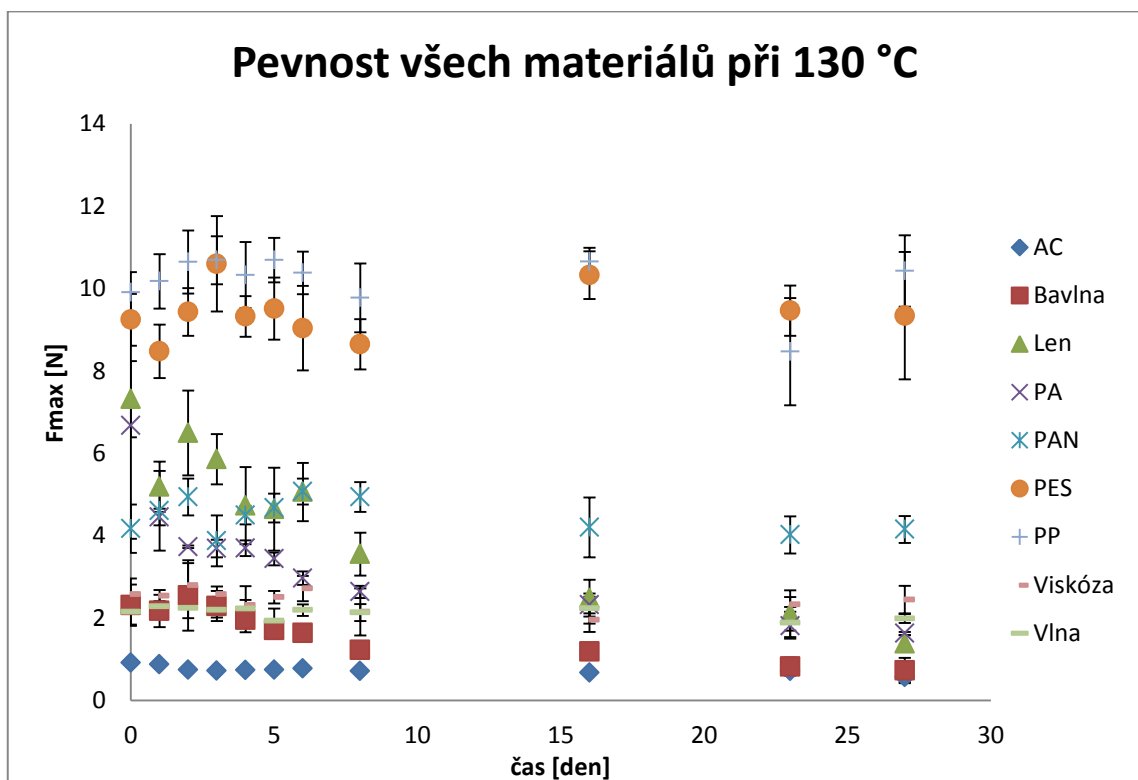
Výsledky a vyhodnocení

Na všech vzorcích textilií a to jak původních, tak i po teplotních expozicích, byly otestovány mechanické vlastnosti – pevnost a tažnost.

Na vybraných vzorcích, tedy na vzorcích původních a po maximální době expozice při maximální teplotě (27 dní při 130 °C) byla měřena barevnost, analyzovány chemické změny metodou FTIR, provedena termická analýza a hodnocení strukturálních změn pomocí elektronové mikroskopie. Dále byla provedena také analýza vlivu teploty na polyamid, který byl vybrán z toho důvodu, že vykazoval velký vliv teploty na pokles pevnosti.

12. Maximální dosažená síla při přetrhu - Pevnost

Maximální síly byly naměřeny na všech vzorcích, výsledky teplotní expozice při teplotě 130 °C jsou shrnuty na obrázku 15. Každý bod v tomto grafu je průměrem z 5 měření. Grafy pro jednotlivé materiály při všech teplotách, tedy 80–130 °C jsou vyobrazeny v příloze č. 5.

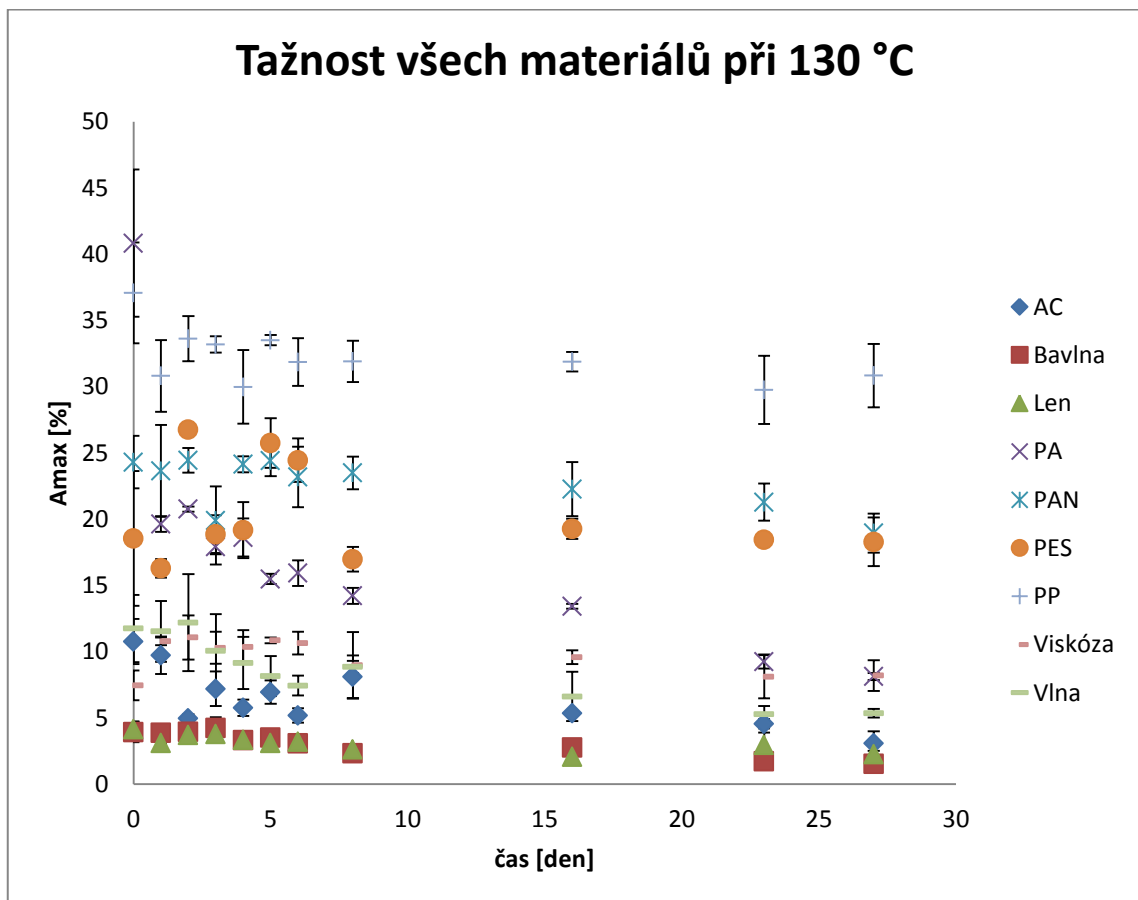


Obrázek 16 Pevnost všech materiálů v časech 0-27 dní při teplotní expozici 130 °C [vlastní zpracování]

Na obrázku 16 je možné vidět zobrazenou pevnost všech použitých materiálů ve všech časech tedy 0–27 dní při teplotní expozici 130 °C včetně intervalů spolehlivosti. Z grafu je možné vidět, že největší pokles pevnosti nastal u lnu, celkem o 81 %. Dále pak u polyamidu o 76 %, následně u bavlny o 69 % a pevnost acetátu klesla o 38 %. U vlny, viskózy, polyakrylonitrilu, polyesteru a polypropylenu byly změny pevnosti do 8 %, tedy téměř žádné.

13. Tažnost při maximální dosažené síle - Tažnost

Tažnost při maximální dosažené síle byla naměřena na všech vzorcích. Výsledky teplotní expozice při teplotě 130 °C jsou shrnuty na následujícím obrázku 16. Každý bod v grafu je průměrem z 5 měření. Grafy pro jednotlivé materiály při všech teplotách, tedy 80–130 °C jsou vyobrazeny v příloze č. 6.

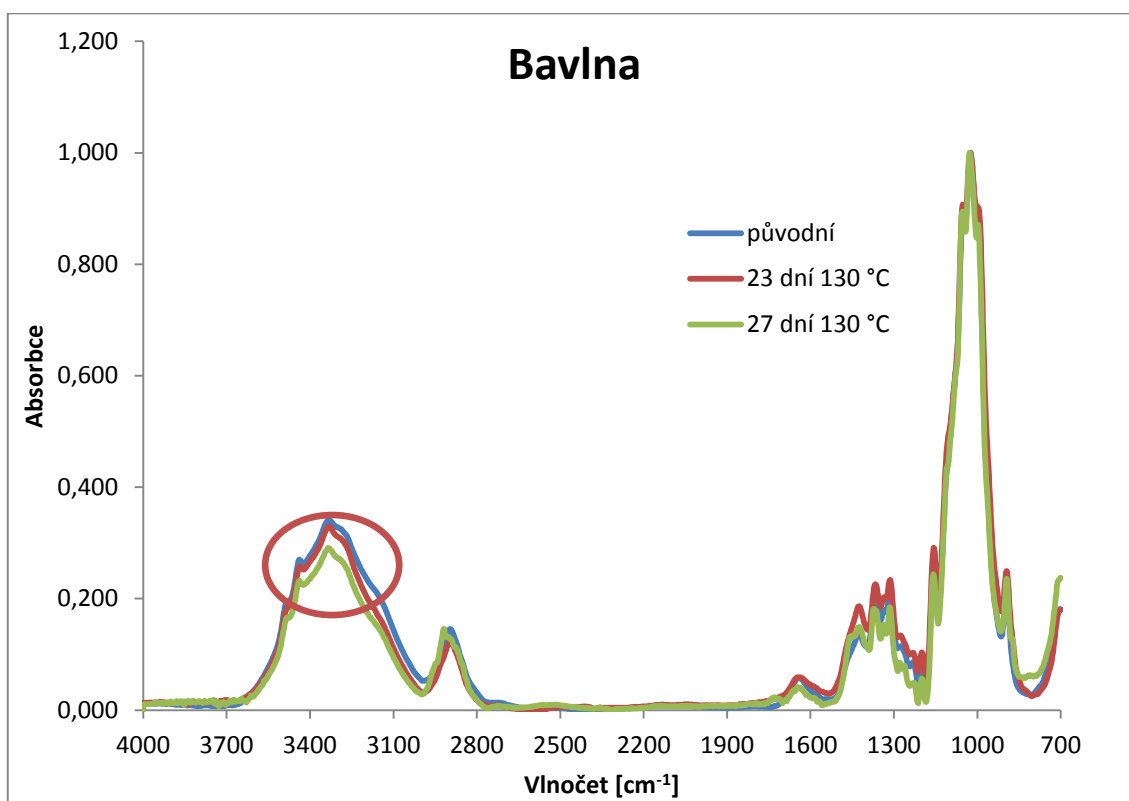


Obrázek 17 Tažnost všech materiálů v časech 0-27 dní při teplotní expozici 130 °C [vlastní zpracování]

Obrázek 17 znázorňuje tažnost všech použitých materiálů ve všech časech tedy 0–27 dní při teplotní expozici 130 °C včetně intervalů spolehlivosti. Největší pokles tažnosti nastal u polyamidu a to o 80 %. Následuje acetát s poklesem o 71 %, bavlna o 61 %, vlna s poklesem o 55 %, len o 22 %, polyakrylonitril o 22 %, polypropylen o 17 % a nejmenší pokles tažnosti byl zjištěn u polyesteru a to o 1 %. Zajímavé je, že u viskózy se tažnost při teplotní expozici po dobu 27 dní při 130 °C zvýšila o 10 %.

14. Infračervená spektrometrie

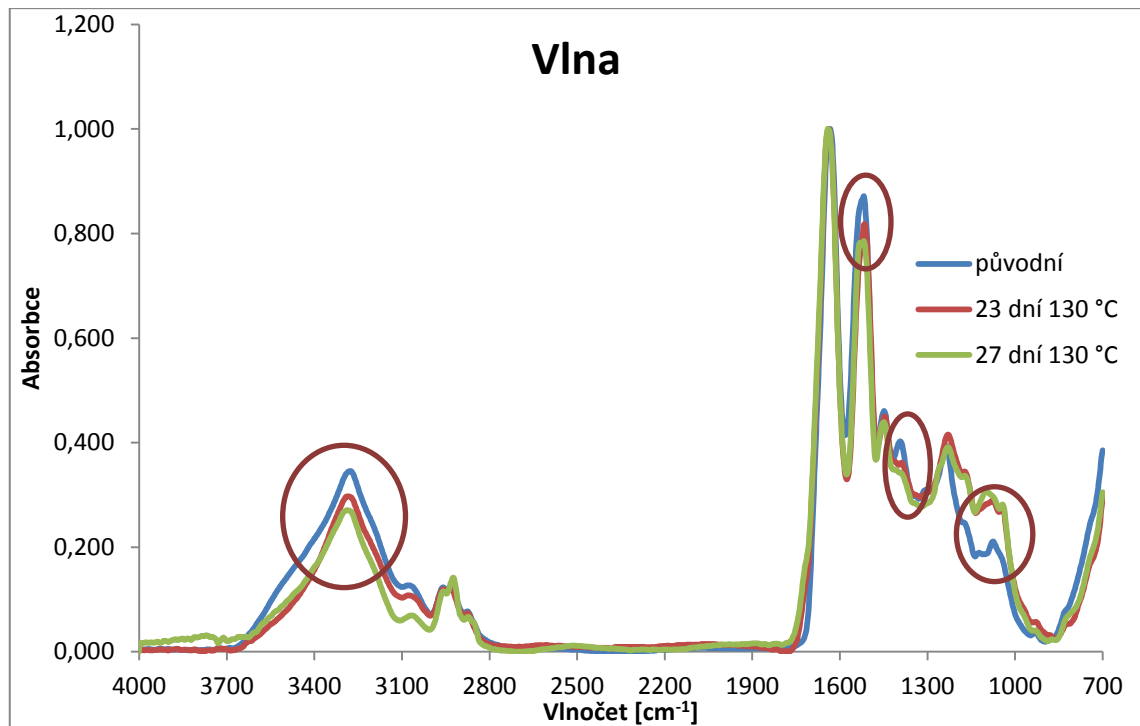
Infračervená spektrometrie byla provedena na vzorcích původních tedy před teplotní expozicí a na vzorcích po teplotní expozici 130 °C v časech 23 a 27 dní. Výsledky těchto měření na všech materiálech jsou vyobrazeny na obrázcích 18–26.



Obrázek 18 Spektra bavlny původní a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Bavlna (Obrázek 18):

3300 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá



Obrázek 19 Spektra vlny původní a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

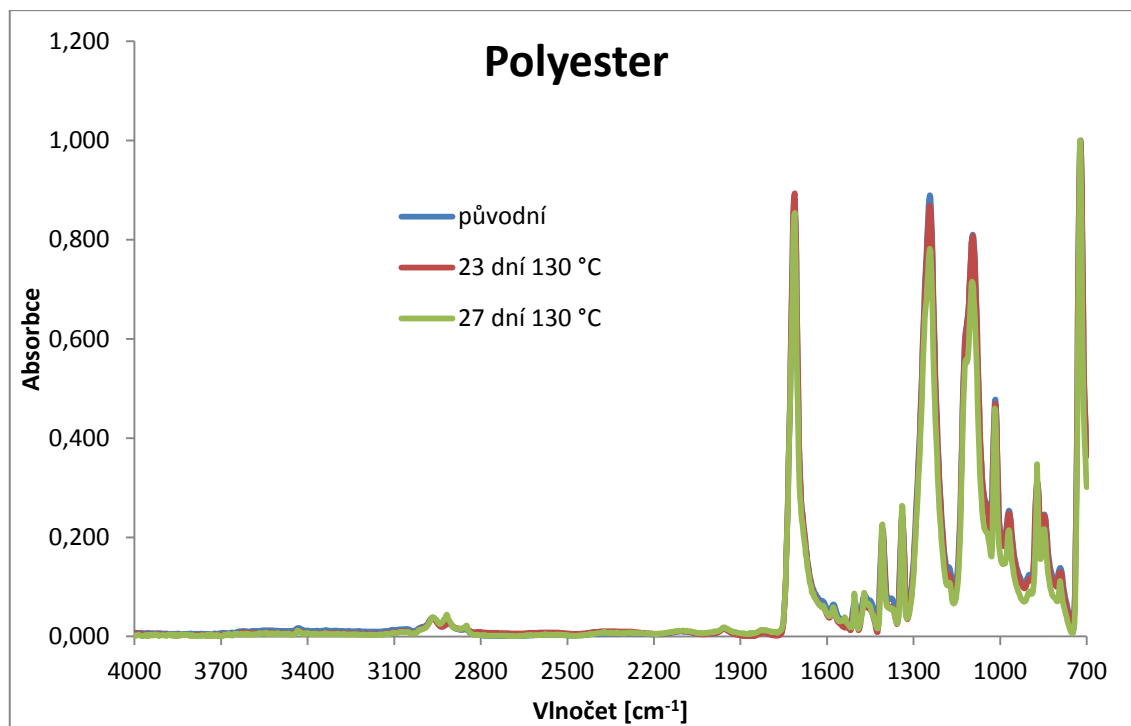
Vlna (Obrázek 19):

3300 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá

1510 – N-H skupiny – expozicí množství klesá

1386 – CH_3 – expozicí množství klesá

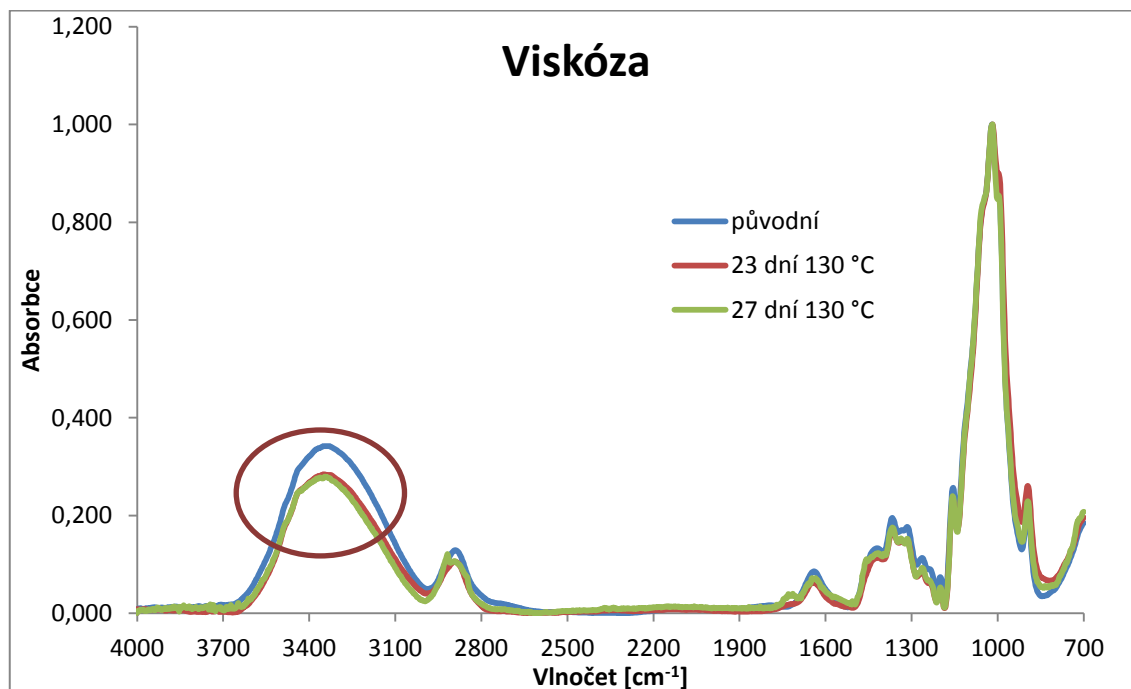
1062 – C-O alkoholy estery etery – expozicí množství roste



Obrázek 20 Spektra PES původního a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Polyester (Obrázek 20):

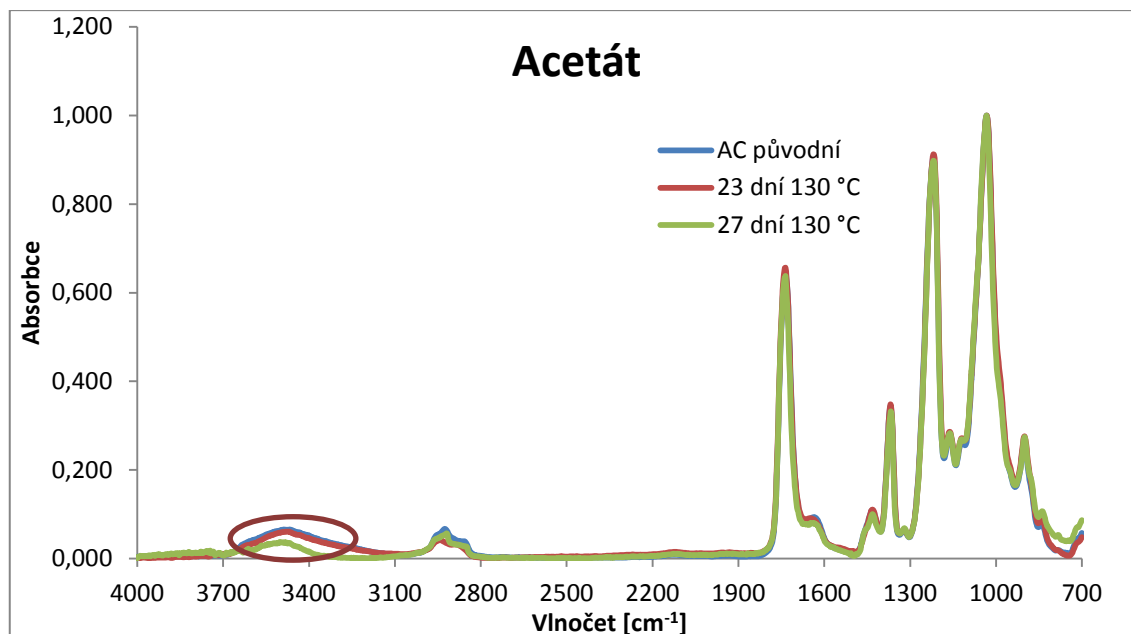
Nenastala žádná změna.



Obrázek 21 Spektra viskózy původní a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Viskóza (Obrázek 21):

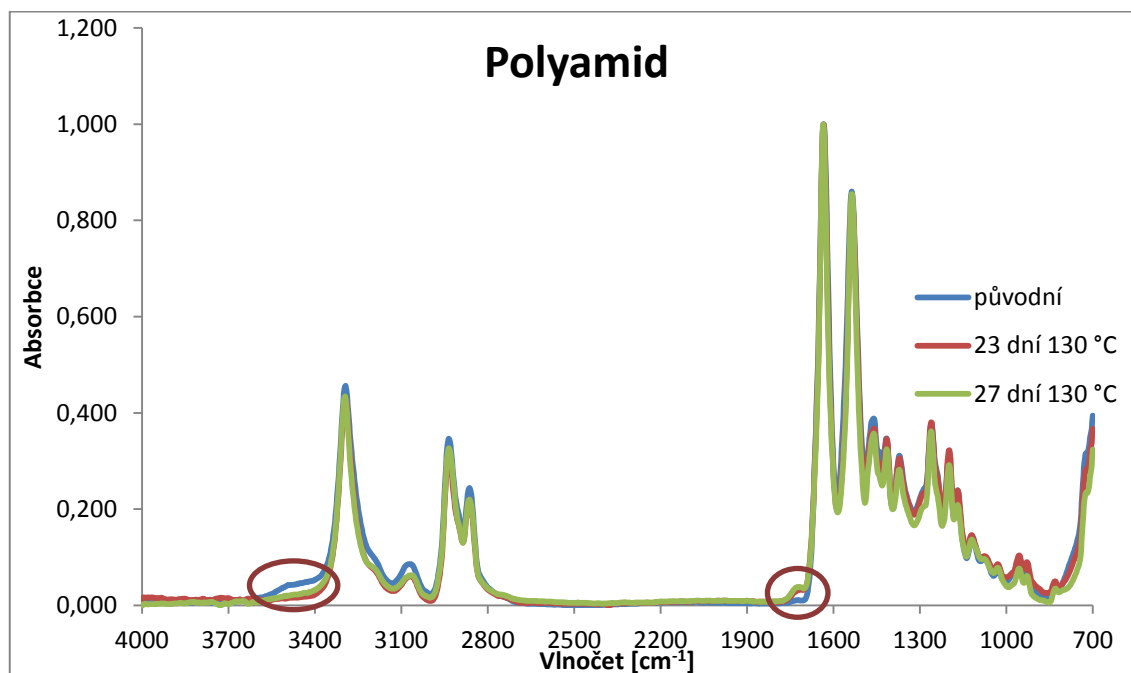
3300 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá



Obrázek 22 Spektra acetátu původního a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Acetát (Obrázek 22):

3300 – OH skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá (27 dní)

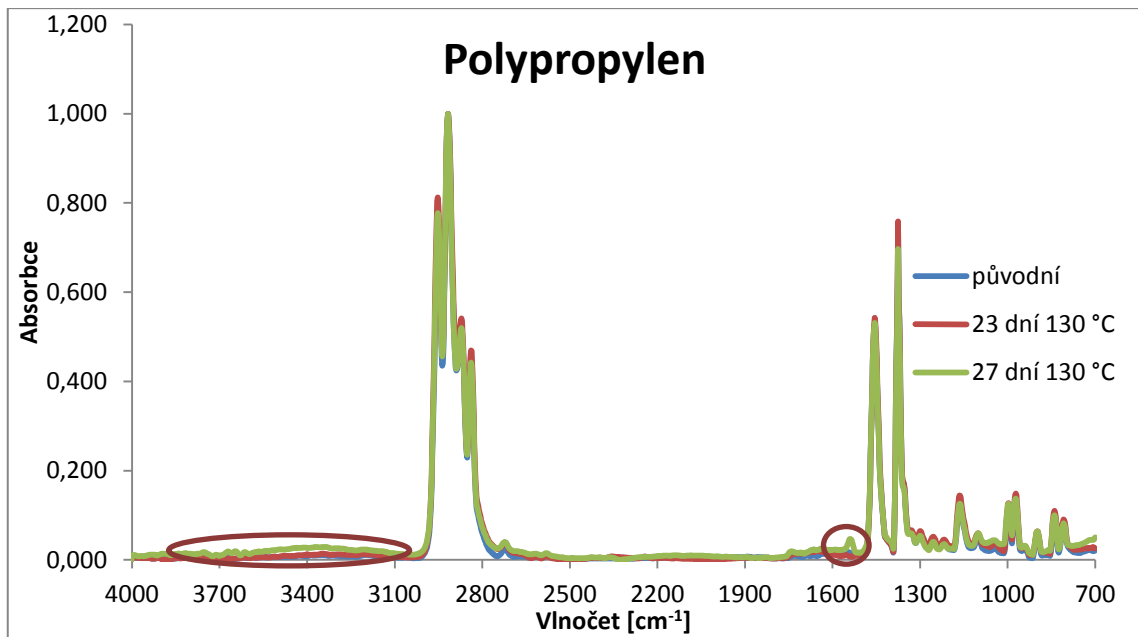


Obrázek 23 Spektra PA původního a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Polyamid (Obrázek 23):

3480 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá

1708 – C=O – aldehydy a ketony – expozicí množství roste

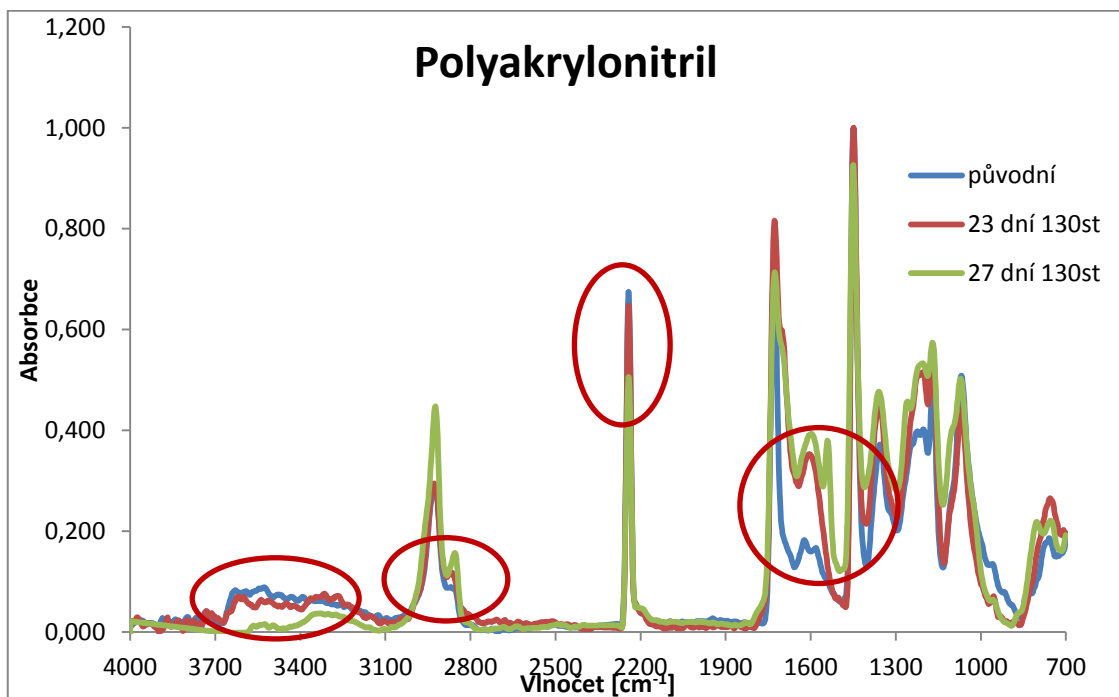


Obrázek 24 Spektra PP původního a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Polypropylen (Obrázek 24):

3300 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství roste

1530 – C=C vazby – expozicí množství roste



Obrázek 25 Spektra PAN původního a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Polyakrylonitril (Obrázek 25):

3300 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá

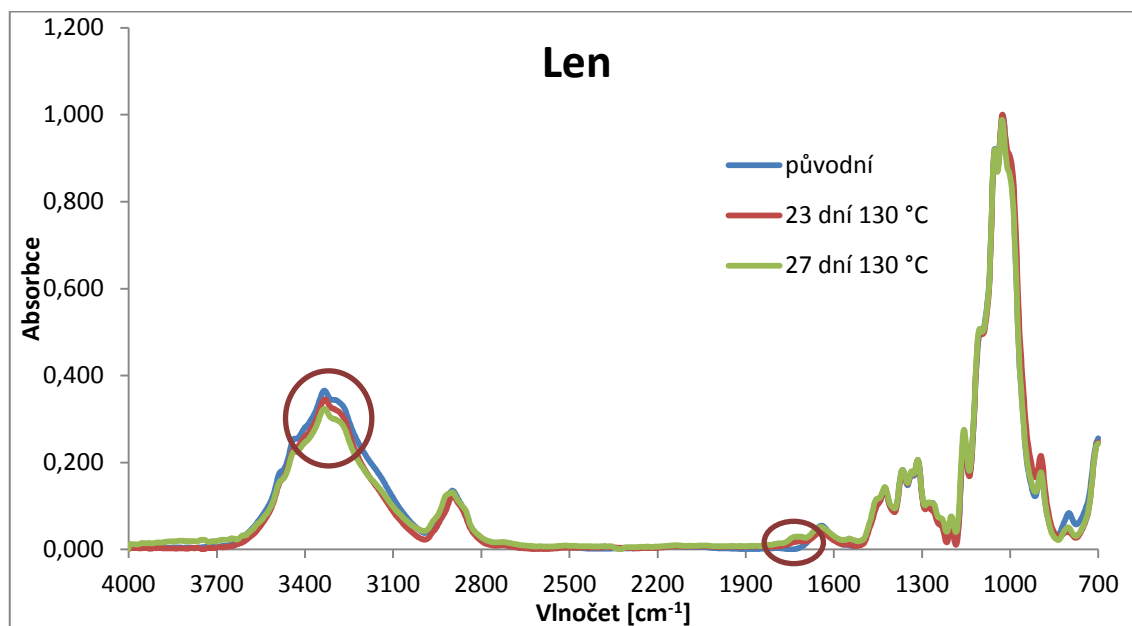
2920 – C-H nebo O-H - expozicí množství roste

2850 – C-H nebo O-H - expozicí množství roste

2250 – C≡N – expozicí množství klesá

1586 – N-H sekundární aminy, C=C **aromáty** - expozicí množství roste

1536 – N-H sekundární aminy, C=C **aromáty** - expozicí množství roste



Obrázek 26 Spektra lnu původního a po teplotní expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní [vlastní zpracování]

Len (Obrázek 26):

3300 – O-H skupiny – vázané vodíkovými můstky – expozicí množství klesá

1720 - C=O vazby - aldehydy, estery, ketony - expozicí množství roste

Infračervená spektrometrie je metodou ukazující trendy změn v chemickém složení, ukazuje, že se něco mění, ale není zřejmé, kolik se toho změnilo. Jde o analýzu kvalitativní, ne kvantitativní. Nejvíce změn bylo zaznamenáno u polyakrylonitrilu, který projevil změny v celkem šesti skupinách, nejvýraznější změna proběhla v oblastech charakteristických pro aromáty a sekundární aminy, tedy konkrétně v oblastech okolo 1586 a 1536 cm^{-1} . Téměř u všech materiálů byla zaznamenána změna v oblasti vázaných vodíkových můstků, konkrétně v oblastech okolo 3300 cm^{-1} . U většiny materiálů jejich množství expozicí klesalo, např. len, polyakrylonitril, polyamid, acétát,

ale u polypropylenu jejich množství expozicí vzrostlo. U polyesteru nebyly zaznamenány žádné změny.

15. Měření barevnosti

Změna v barevnosti vzorků byla měřena na vzorcích před teplotní expozicí tedy původních a na vzorcích po teplotní expozici při 130 °C v čase 27 dní, tedy maximální expozici. V tabulce 17 jsou vyobrazeny průměrné hodnoty modré (B) složky vzorků původních a po maximální expozici, její směrodatné odchylky a rozdíl jejich průměrných hodnot.

Tabulka 17 Výsledky měření barevnosti – hodnota B složky vzorku [vlastní zpracování]

Vzorek	původní		Po expozici 27 dní, 130 °C		Rozdíl „průměrných hodnot“
	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	
PAN	224,25	11,35	22,71	17,54	201,54
PA	224,98	8,76	102,69	10,05	122,29
Vlna	198,89	6,96	80,59	17,86	118,3
Len	213,30	12,32	138,41	24,95	74,89
Viskóza	224,15	7,24	160,78	20,07	63,37
Bavlna	224,69	7,30	170,12	17,15	54,57
Acetát	223,28	13,75	179,39	29,29	43,89
PP	224,57	6,14	217,56	9,13	7,01
PES	223,24	9,22	217,73	10,63	5,51


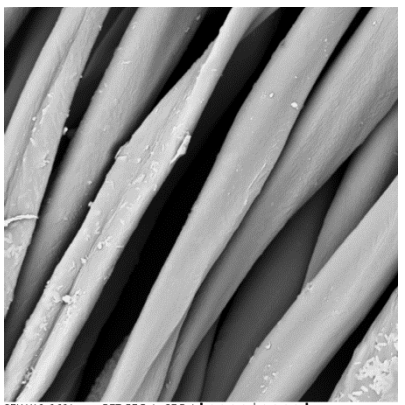
Z naměřených dat lze konstatovat, že u většiny vzorků proběhla výrazná změna barevnosti. Všechny vzorky do jisté míry žloutnou, některé až hnědnou. Nejvýraznější změnu lze pozorovat u vzorku polyakrylonitrilu, kdy se v modré spektrální složce průměrná hodnota neexponovaného vzorku změnila z 224,25 na 22,71 u vzorku vystaveného tepelné expozici při 130 °C po dobu 27 dní.

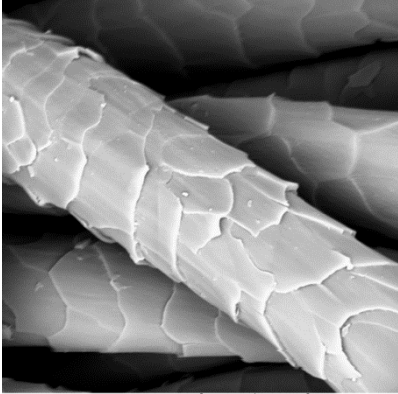

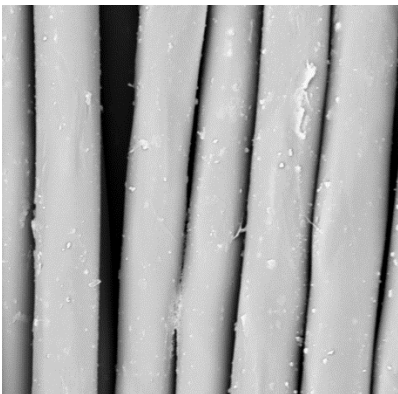
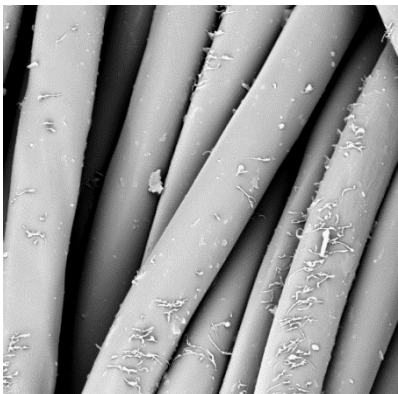
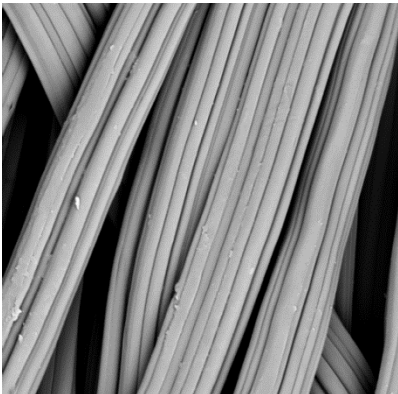

Nejmenší změna resp. téměř žádná změna neproběhla u vzorků z polyesteru a polypropylenu. U polyesteru se průměrná hodnota v modré spektrální složce změnila z 223,24 u původního vzorku na 217,73 u vzorku vystaveného tepelné expozici 130 °C po dobu 27 dní, ovšem směrodatná odchylka je poměrně vysoká, tedy nelze nalézt žádnou změnu. To stejné lze říci i o polypropylenu. Veškerá data a obrázky lze nalézt v příloze č. 1.

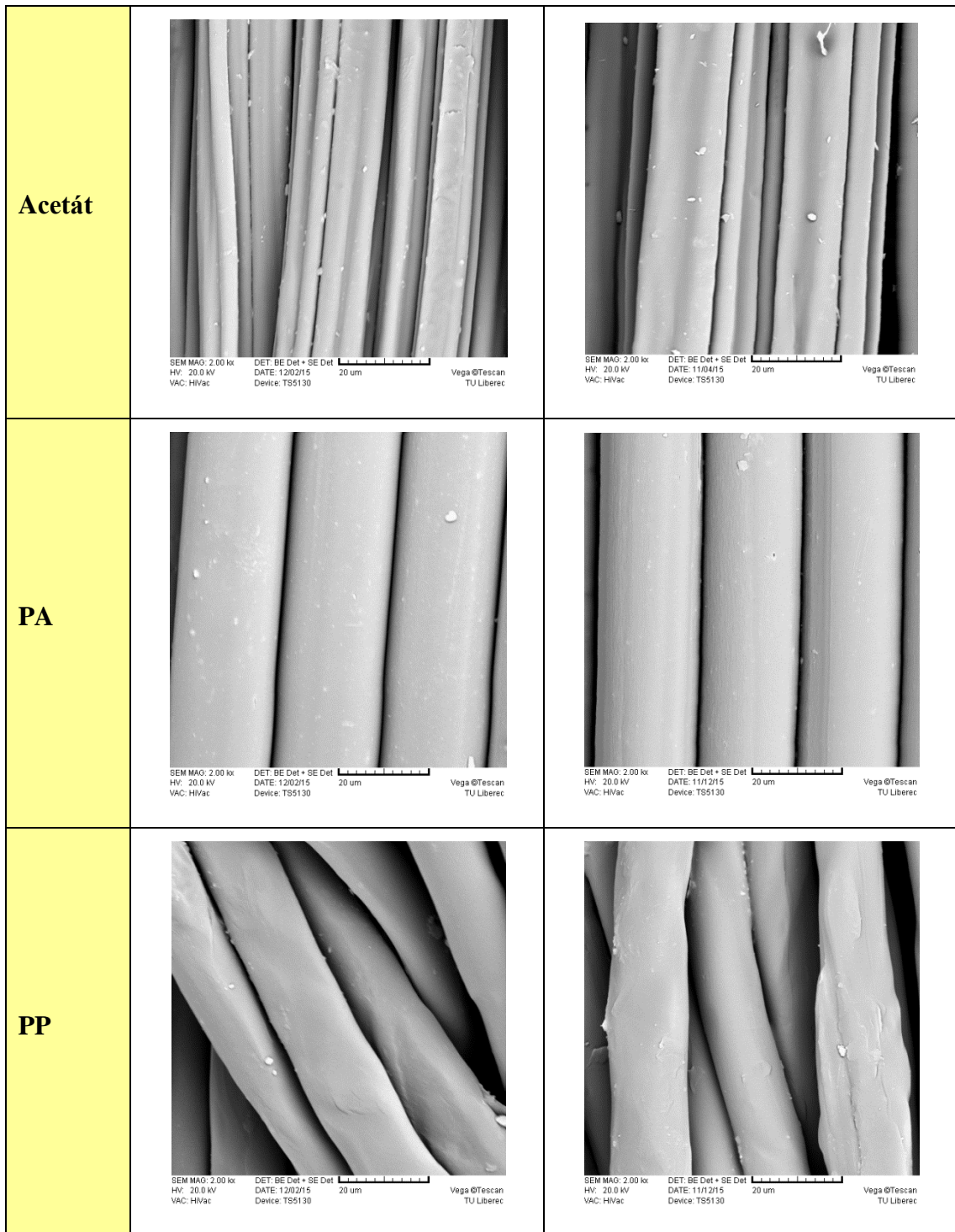
16. Elektronová mikroskopie

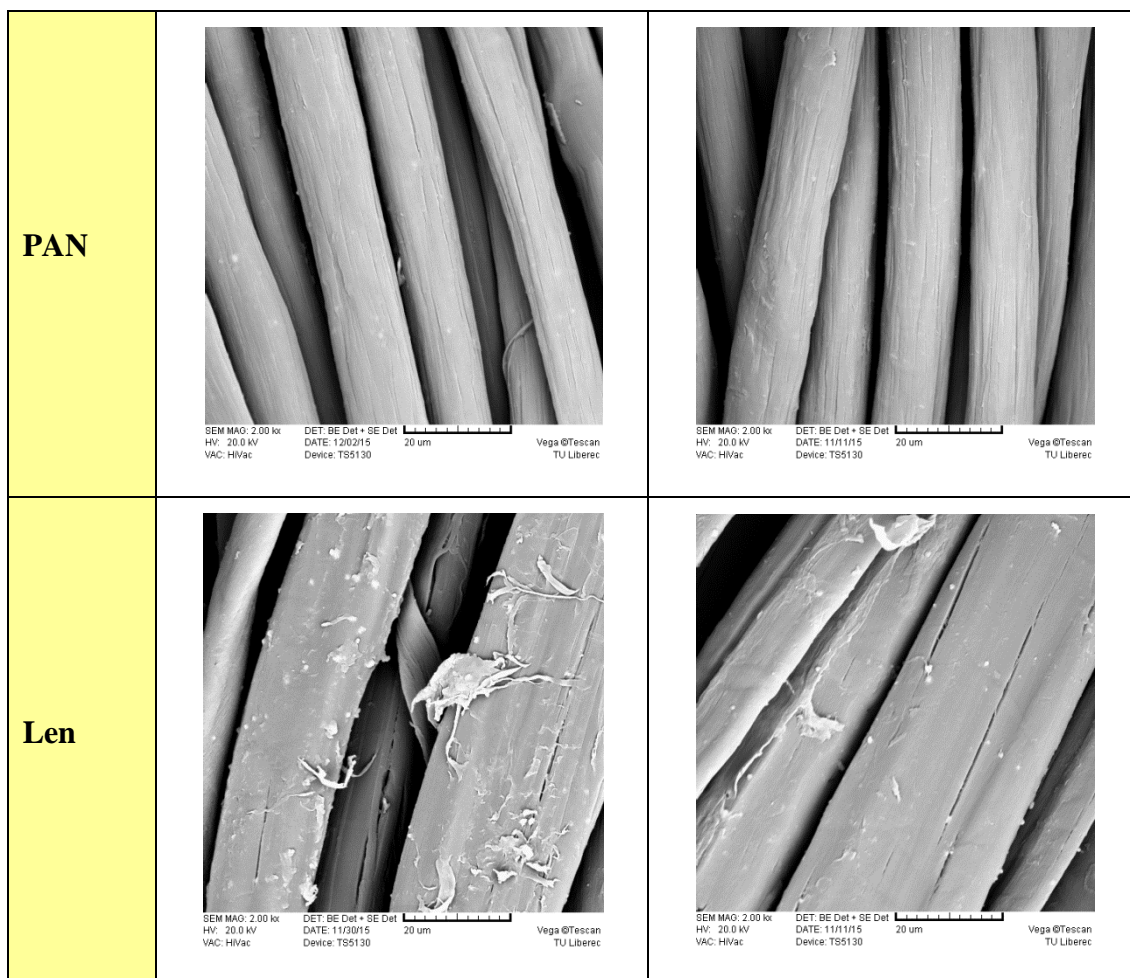
Na všech druzích materiálů byla provedena řádkovací elektronová mikroskopie. V tabulce 18 jsou zobrazena vlákna před teplotní expozicí tedy původní a na vzorcích po teplotní expozici při 130 °C v čase 27 dní, tedy maximální expozici. Veškerá pořízená data z elektronové mikroskopie jsou uvedena v příloze č. 2.

Tabulka 18 Výsledky měření - elektronová mikroskopie [vlastní zpracování]

Materiál	Vlákno před expozicí - původní	Vlákno po expozici 27 dní 130°C
Bavlna	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 12/02/15 20 um Vega ©Tescan VAC: HiVac Device: TS5130 TU Liberec</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 11/04/15 20 um Vega ©Tescan VAC: HiVac Device: TS5130 TU Liberec</p>

<p>Vlna</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 12/02/15 20 um VAC: HVVac Device: TS5130 Vega ©Tescan TU Liberec</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 11/05/15 20 um VAC: HVVac Device: TS5130 Vega ©Tescan TU Liberec</p>
<p>PES</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 11/30/15 20 um VAC: HVVac Device: TS5130 Vega ©Tescan TU Liberec</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 11/05/15 20 um VAC: HVVac Device: TS5130 Vega ©Tescan TU Liberec</p>
<p>Viskóza</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 12/02/15 20 um VAC: HVVac Device: TS5130 Vega ©Tescan TU Liberec</p>	 <p>SEM MAG: 2.00 kx DET: BE Det + SE Det HV: 20.0 kV DATE: 11/04/15 20 um VAC: HVVac Device: TS5130 Vega ©Tescan TU Liberec</p>



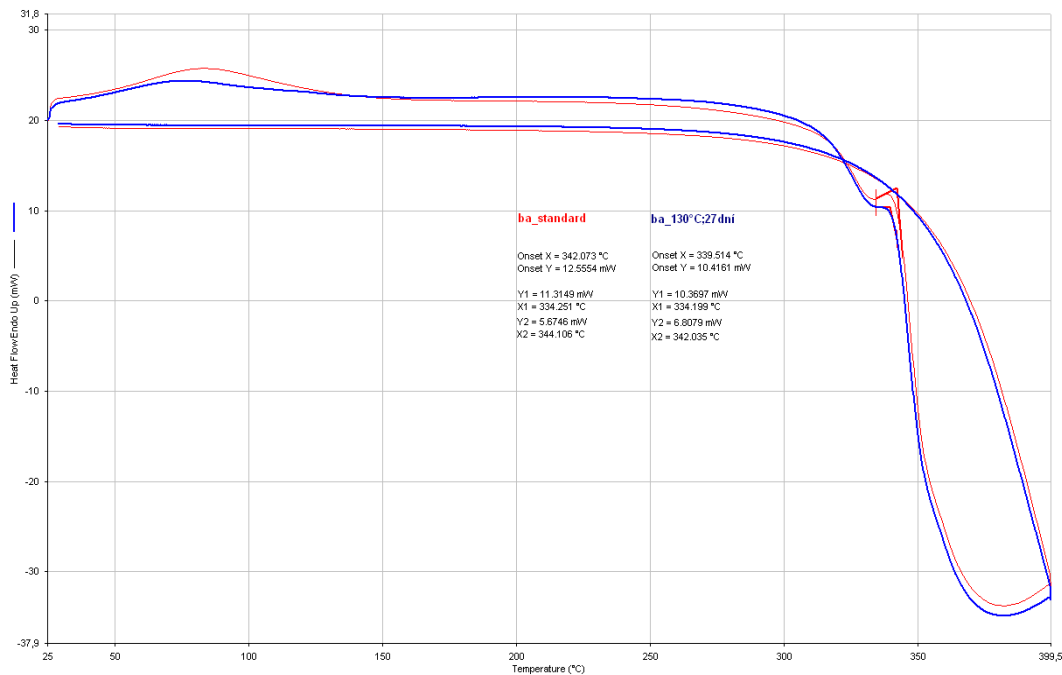


Změny, které nastaly po teplotní expozici při 130 °C v čase 27 dní, lze pozorovat u vlněných vláken a vláken z polyesteru. Na vláknech vlny je vidět, jak kutikuly (šupiny) praskají, a u polyesterových vláken lze pozorovat krystalizaci nečistot na povrchu – oligomery, což jsou molekuly složené z více monomerů navzájem kovalentně vázaných. Na ostatních vláknech nejsou viditelné žádné morfologické změny.

17. Termická analýza – DSC

Termická analýza byla provedena na vzorcích před teplotní expozicí tedy, původních a na vzorcích po teplotní expozici při 130 °C v čase 27 dní, tedy maximální expozici. Výsledky těchto měření jsou zobrazeny na obrázcích 26–34.

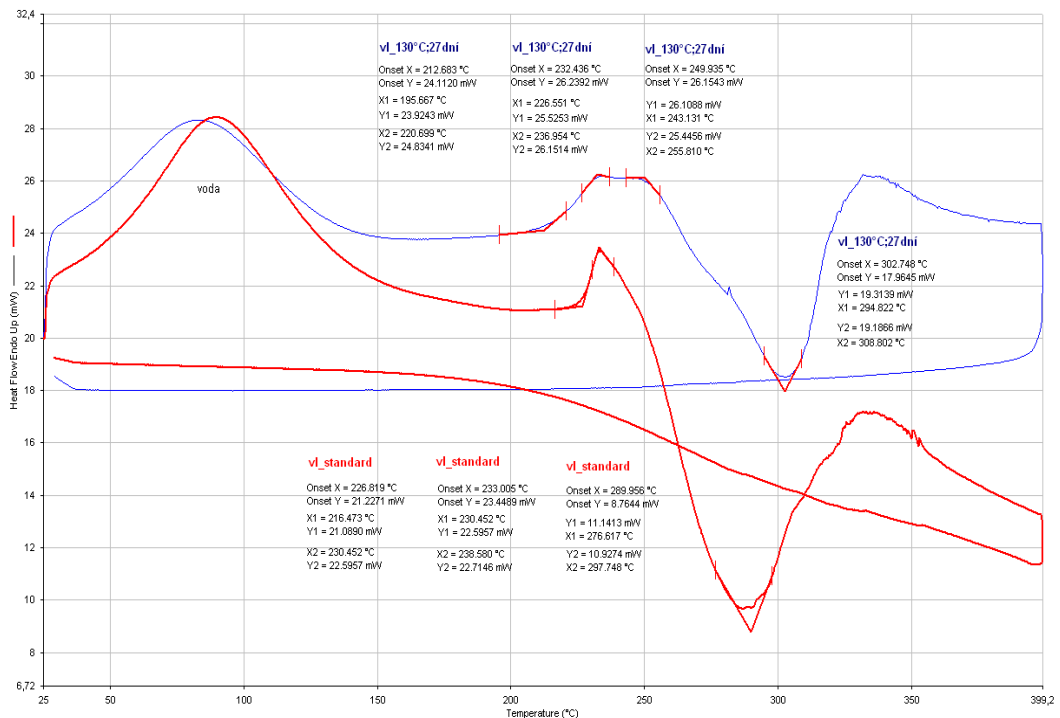
Bavlna



Obrázek 27 Termická analýza – Bavlna [vlastní zpracování]

U bavlny (obrázek 27) se rozklad projevil pouze malým píkem celkově lze říci, že z hlediska DSC se materiál nezměnil.

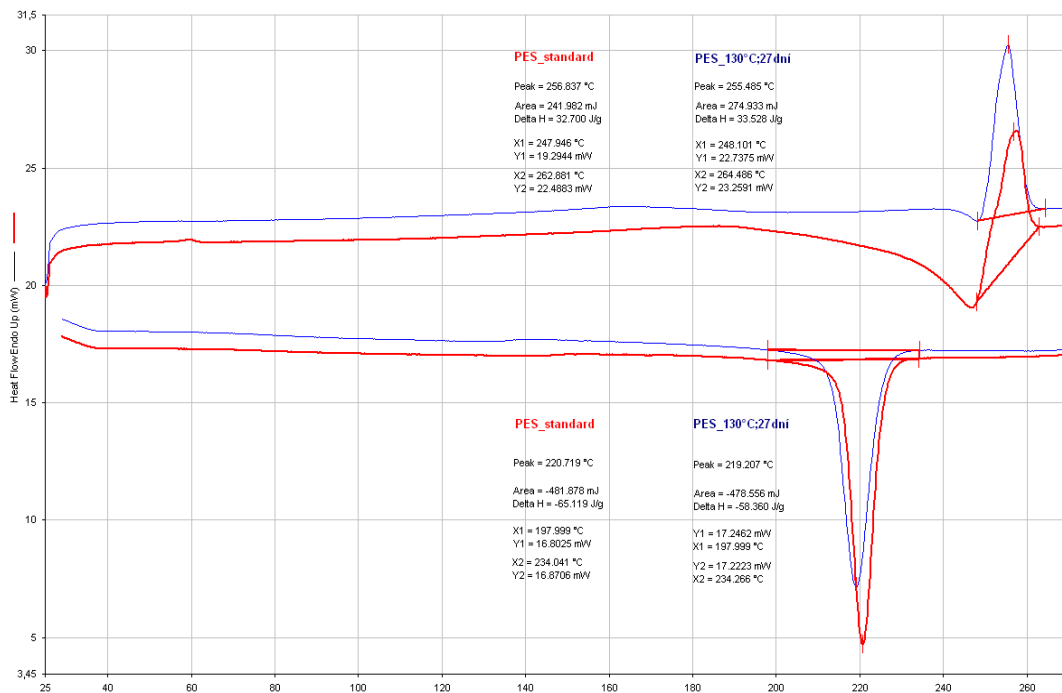
Vlna



Obrázek 28 Termická analýza – Vlna [vlastní zpracování]

Na obrázku 28 je možné vidět rozdíly mezi vlnou před teplotní expozicí a po teplotní expozici. Vzorek po teplotní expozici je teplem stabilizován, tudíž je méně citlivý na teplotu a jeho rozklady jsou posunuty k výrazně vyšším teplotám.

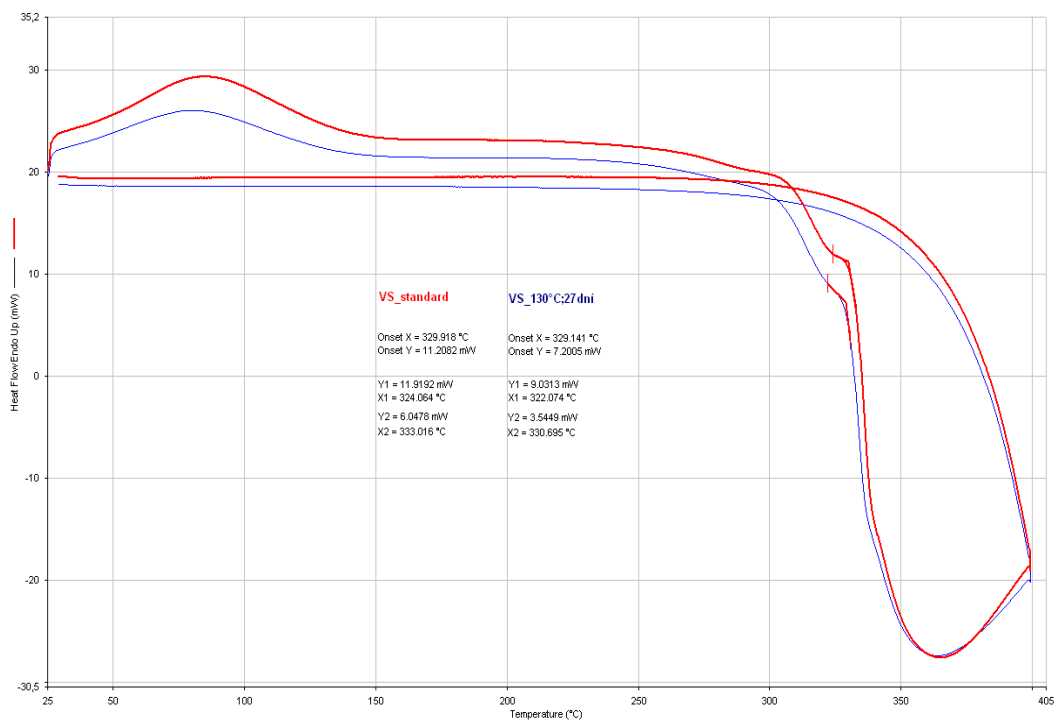
Polyester



Obrázek 29 Termická analýza – Polyester [vlastní zpracování]

U polyesteru (obrázek 29) je možné vidět odlišný průběh křivek. Zejména v intervalu 180 až 250 °C při ohřevu. Materiál po tepelné expozici vykazuje konstantní hodnotu příkonu nezbytné energie k ohřevu, na rozdíl od materiálu teplotně neexponovaného, kde je tato závislost nelineárně klesající. Pravděpodobně to souvisí s uspořádáním nemolekulární struktury polyesteru změněné při teplotní expozici.

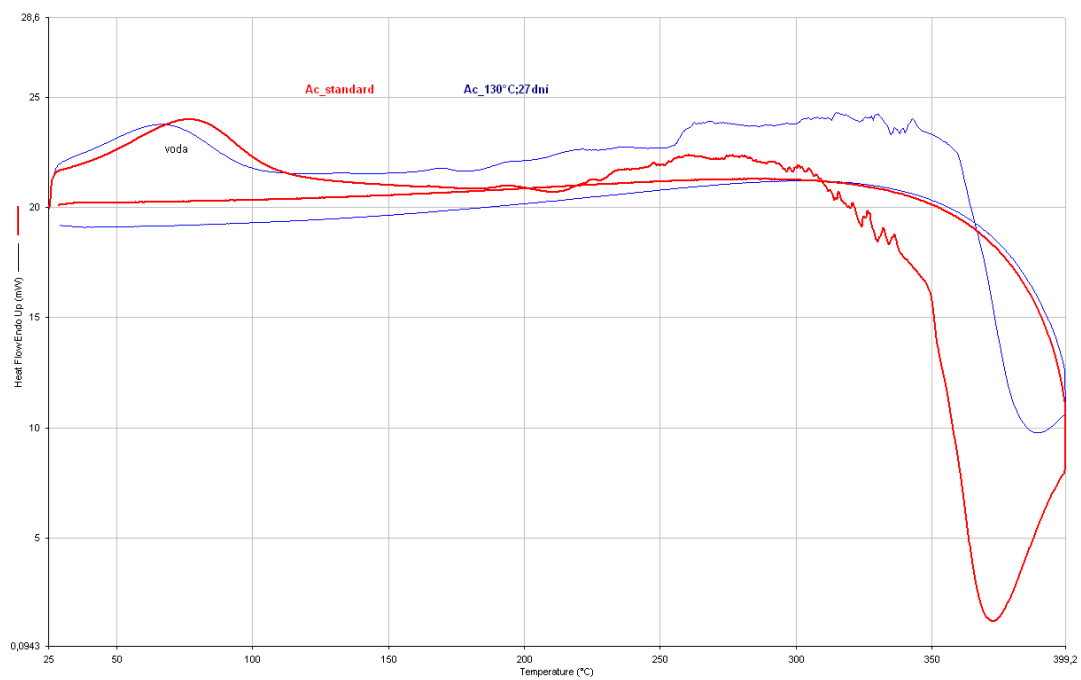
Viskóza



Obrázek 30 Termická analýza – Viskóza [vlastní zpracování]

Na viskóze (obrázek 30) nelze pozorovat žádné změny – změny u obou vzorků nastávají při stejných teplotách.

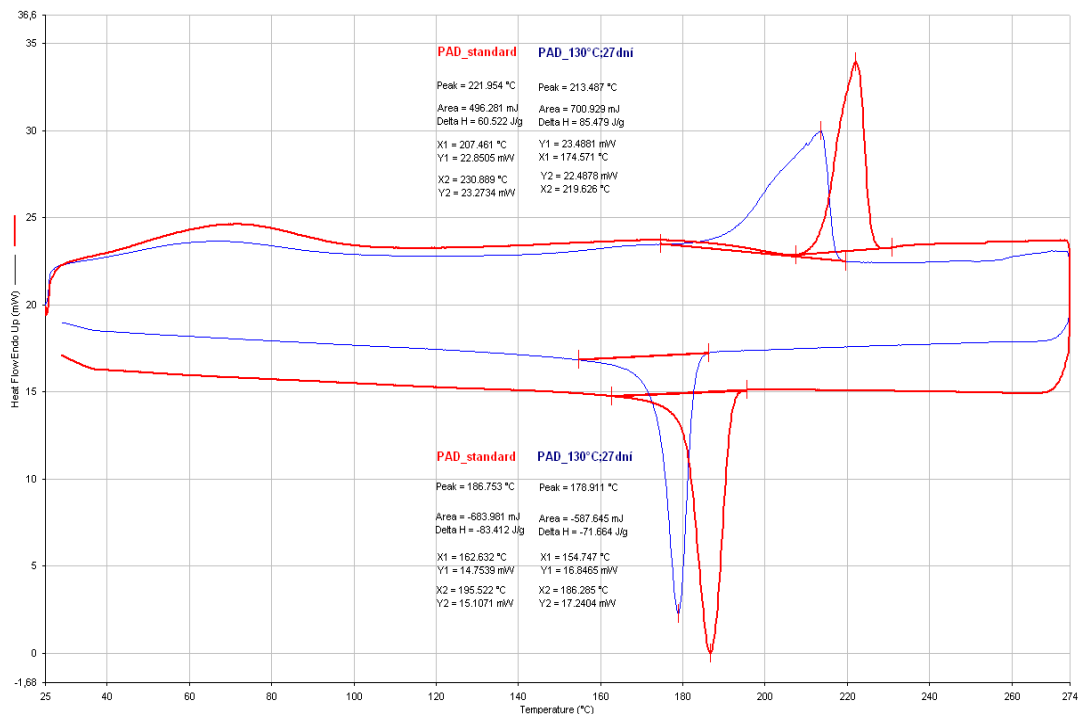
Acetát



Obrázek 31 Termická analýza – Acetát [vlastní zpracování]

U acetátu (obrázek 31) došlo ke zvýšení teplotní stability. Změny v křivkách jsou posunuty díky dlouhodobému působení teploty k vyšším teplotám.

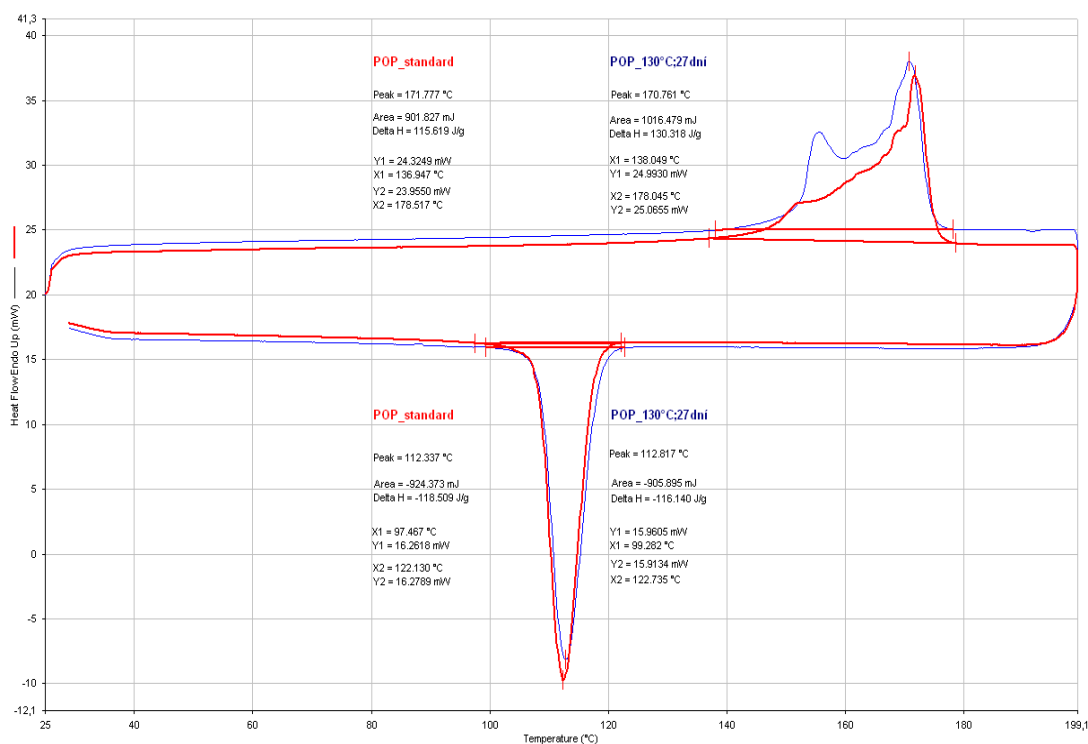
Polyamid



Obrázek 32 Termická analýza – Polyamid [vlastní zpracování]

Materiál z polyamidu (obrázek 32) vykazuje výrazné změny. Vzorek před expozicí taje při teplotě 220 °C, a vzorek po tepelné expozici taje při 213 °C a navíc začíná tát při mnohem nižší teplotě než vzorek neexponovaný. Toto je jasným důkazem depolymerace. Obdobně se polyamid chová i při chlazení vzorku, kdy lze pozorovat výrazné rozdíly v teplotě krystalizace/tuhnutí.

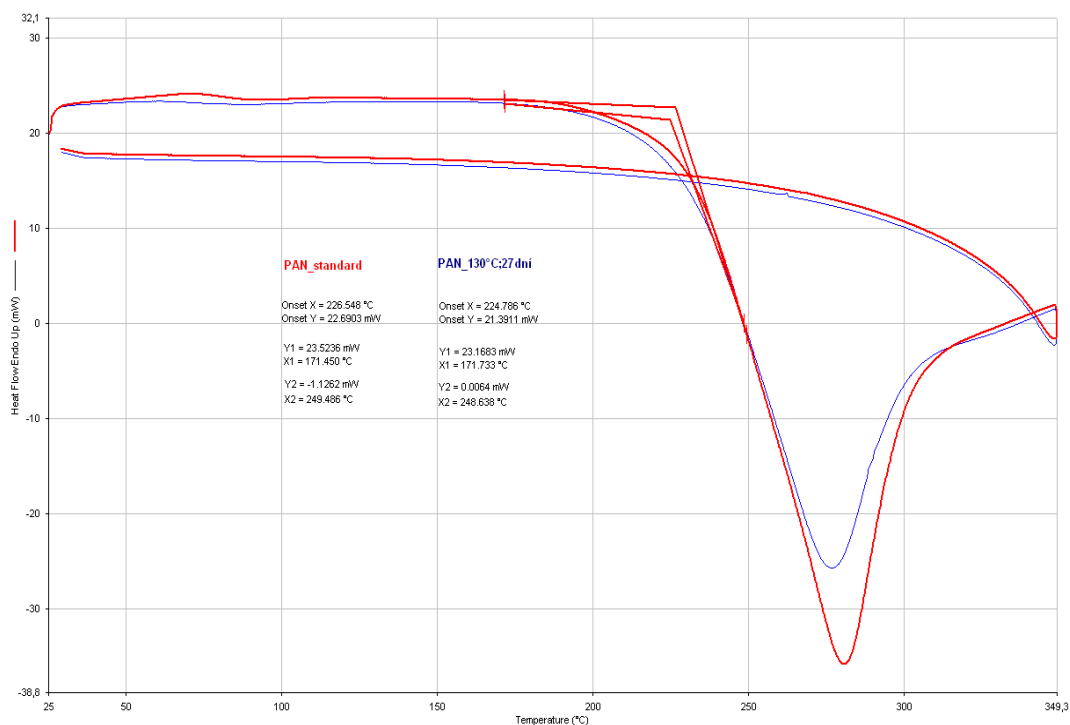
Polypropylen



Obrázek 33 Termická analýza – Polypropylen [vlastní zpracování]

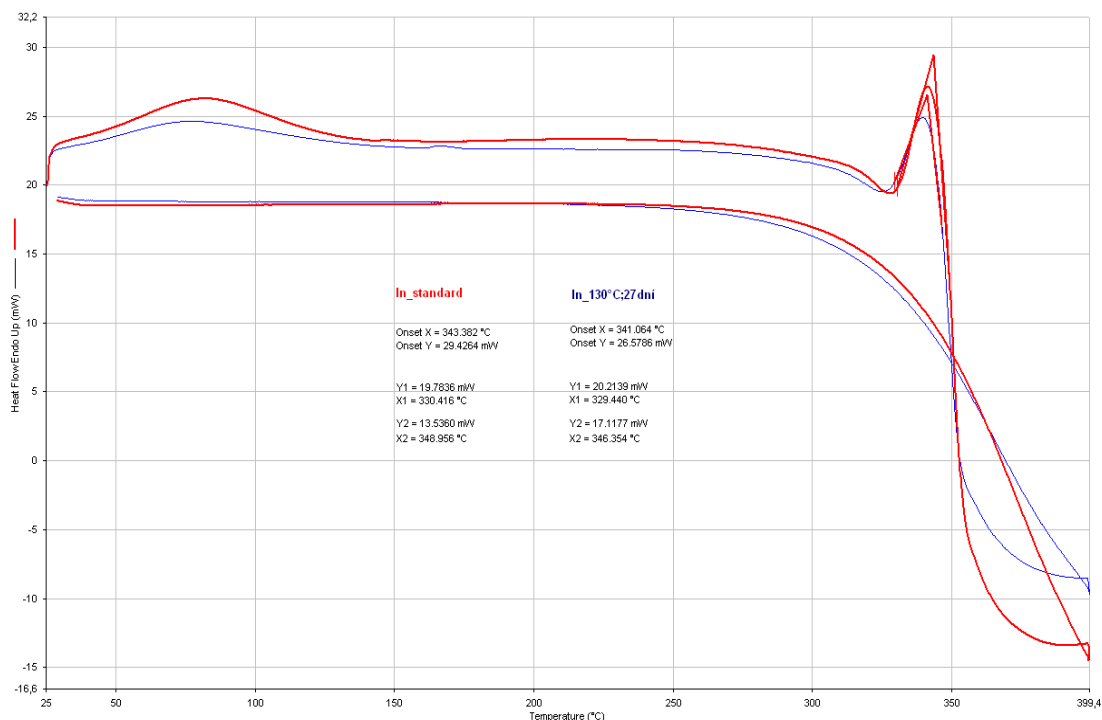
U polypropylenu (obrázek 33) jsou teploty tání stejné jak na neexponovaném, tak na exponovaném vzorku teplotou 130 °C po dobu 27 dní, ale vzorek exponovaný vykazuje odlišný průběh. Změny v polypropyleny byly v nadmolekulárním uspořádání, při ochlazování po roztavení polymeru nebyla na DSC křivce patrná žádná změna.

Polyakrylonitril



Obrázek 34 Termická analýza – Polyakrylonitril [vlastní zpracování]

Rozklad polyakrylonitrilu (obrázek 34) by měl probíhat při 300 °C, ovšem díky tomu, že vzorek už byl exponovaný teplem (130 °C po dobu 27 dní), tak jeho rozklad neprobíhá tak výrazně, tzn. vzorek byl již teplem „předrozložen“ předem. Při rozkladu probíhají stejné procesy, ale při nižší teplotě.

Len

Obrázek 35 Termická analýza – Len [vlastní zpracování]

U lnu (obrázek 35) jsou změny zanedbatelné, průběh má podobný jako bavlna.

18. Rozměrová stálost

U všech použitých tkanin byla proměřena rozměrová stálost (Tabulka 19), a to tak, že u každého vzorku byla změřena délka i šířka. Měření probíhalo na podložce za pomoci pravítka. Bylo zjištěno, že rozměrově nejstálejší vzorkem je bavlna – rozměr po tepelné expozici 27 dní při 130 °C se téměř nezměnil. Naopak nejméně rozměrově stálé vzorky jsou polypropylen a polyakrylonitril, kdy se jejich rozměr ve směru osnovy zmenšil o 10 mm a ve směru útku o 5 mm. Výsledky všech vzorků je možné vidět v příloze č. 3.

Tabulka 19 Naměřené rozměry vzorků před teplotní expozicí a po teplotní expozicí při 130 °C a době 27 dní v mm [vlastní zpracování]

Vzorek	Původní[mm]		27 dní 130 °C[mm]		Relativní srážení[%]	
	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
Bavlna	302	120	301	120	0	0
Vlna	300	120	292	115	3	4
PES	299	118	293	116	2	2
Viskóza	296	116	290	112	2	3
Acetát	300	120	295	116	2	3
PA	300	120	299	118	0	2
PP	300	120	290	115	3	4
PAN	301	120	290	115	4	4
Len	300	123	296	119	1	3

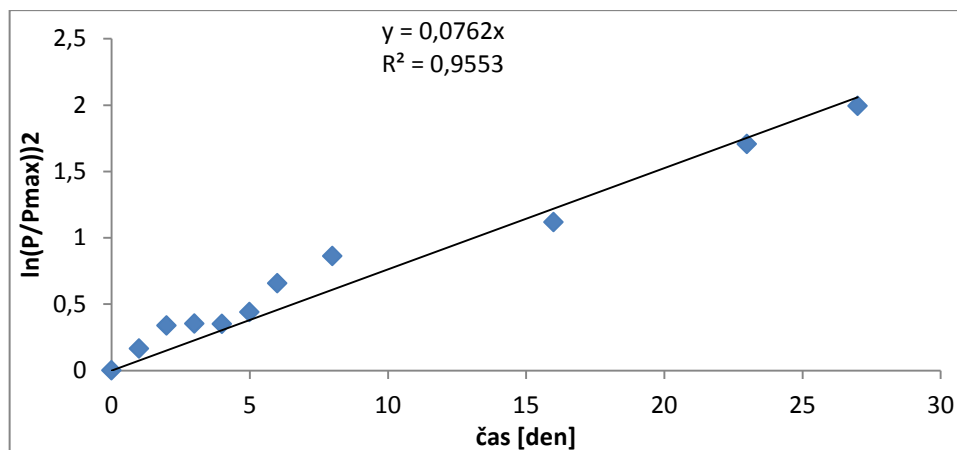
19. Analýza vlivu teploty na polyamid

Pro analýzu vlivu teploty byl vybrán polyamid, protože vykazuje velký vliv teploty na pokles pevnosti.

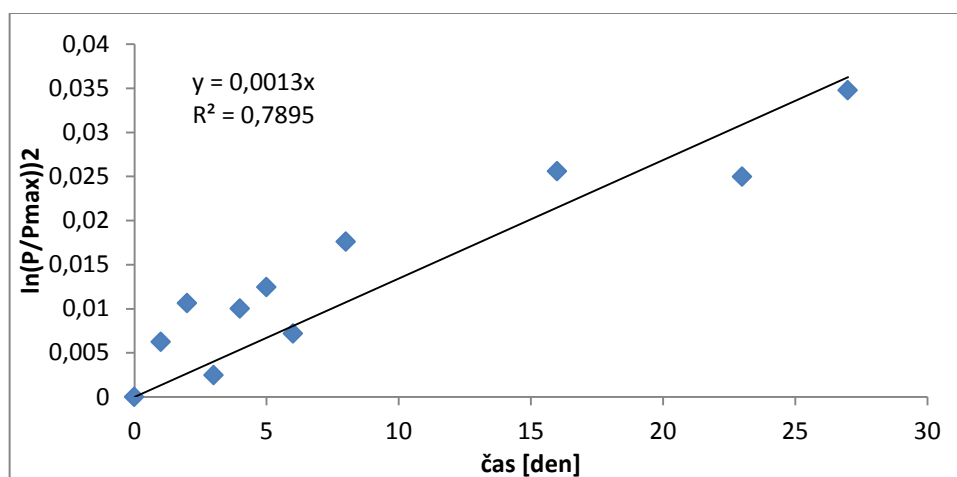
Závislost pevnosti na době působení vysoké teploty lze aproximovat rovnicí (1), která byla navržena a vybrána v rámci předběžné analýzy dat.

$$P = P_{max} \cdot e^{\sqrt{k} \cdot t} \quad (1)$$

Rovnice (1) vyhovuje pro veškeré testované teploty (obr. 36 a 37).

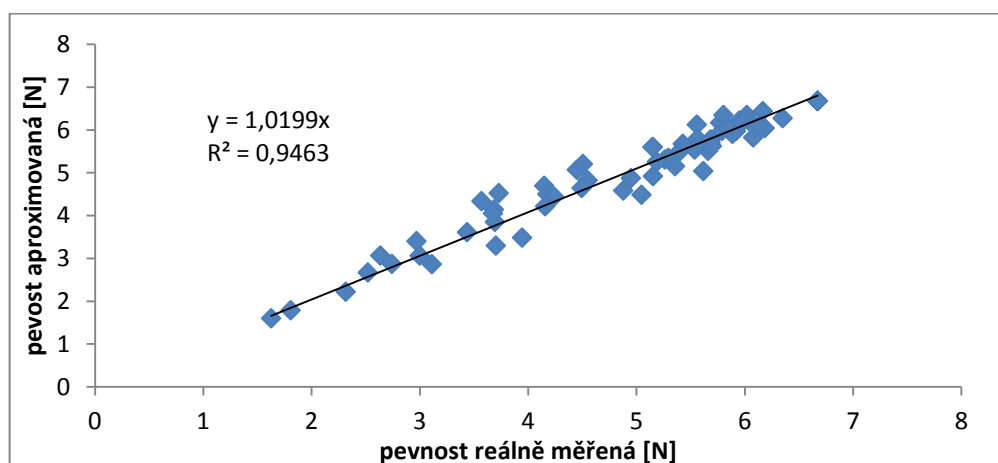


Obrázek 36 Lineární regrese pro teplotu 130 °C [vlastní zpracování]



Obrázek 37 Lineární regrese pro teplotu 80 °C [vlastní zpracování]

Shodu experimentálních dat pevností s daty aproximovanými dle rovnice (1) pro různé teploty je možné posoudit dle obr. 38.



Obrázek 38 Závislost aproximovaných hodnot pevností na reálně změřených hodnotách pevností pro různé teploty a časy [vlastní zpracování]

Lineární regresí v nearizovaných souřadnicích (obr. 36 a 37), byly získány rychlostní konstanty při různých teplotách – viz následující tabulka 20.

Tabulka 20 Rychlostní konstanty při různých teplotách [vlastní zpracování]

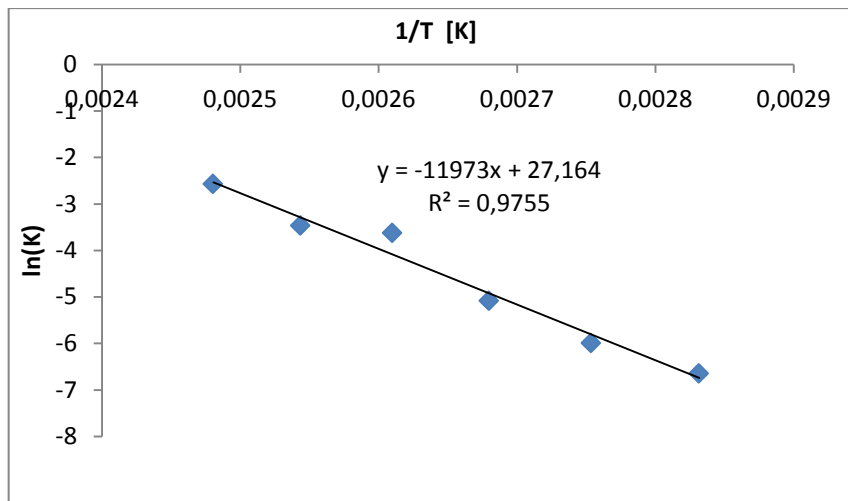
Teplota [°C]	Rychlostní konstanta [1/den]
130	0,0762
120	0,0313
110	0,0266
100	0,0062
90	0,0025
80	0,0013

U těchto rychlostních konstant byla předpokládána závislost na teplotě v souladu s Arrheniovou rovnicí (2).

$$K = A \cdot e^{\left(\frac{-Ea}{R.T}\right)} \quad (2)$$

Pro získání parametrů předexponenciální faktor (A) a aktivační energie (Ea) byla použita lineární regrese v linearizovaných souřadnicích. Linearita dat je přijatelná (R2=0,9597).

Při obecnější interpretaci dat bod odpovídající teplotě 110 °C lze chápat jako zlom, kterým se projevuje teplota zesklnění polyamidu, přičemž by se vedle Arrheniovy rovnice měla využít i teplotního modelu WLF. Tato interpretace dat není v této práci použita.



Obrázek 39 Linearizovaná data teplotní závislosti podle Arrheniova modelu [vlastní zpracování]

Pro experimentální data vychází:

$$E_a = 99543 \text{ J/K.mol}$$

$$A = 5,77E+11 \text{ den}^{-1}$$

Dosazením E_a a A do rovnice (2) lze vypočítat rychlostní konstantu K pro libovolnou teplotu. Dosazením této konstanty do rovnice (1) lze získat pokles pevnosti pro libovolnou teplotu a čas v analytické podobě. V našem konkrétním případě:

$$P = 6,67 \cdot e^{\sqrt{t \cdot 5,77 \cdot 10^{11} \cdot e^{\left(\frac{-99543}{8,14 \cdot T}\right)}}} \quad (3)$$

Přičemž čas je třeba do rovnice zadávat ve dnech a teplotu v Kelvinech.

Po dosazení hodnot do rovnice (3) je možné přímo pro polyamid vypočítat, že je 3,5 dne při 105 °C totéž, jako 100 let při 20 °C. 105 °C je teplota, při které se provádějí zkoušky pro stárnutí papíru ISO 5630/1 a tato norma říká, že 3 dny simulují 25let stárnutí. Dle této rovnice vychází, že polyamid bude ztrácet svoji pevnost 4x pomaleji než papír.

20. Souhrnná tabulka změn u prováděných zkoušek

V tabulce 21 jsou zobrazeny změny u prováděných zkoušek na vzorcích před teplotní expozicí tedy původních a po maximální teplotní expozici tedy 27 dní při 130 °C. Pod tabulkou jsou uvedeny vysvětlivky jednotlivých znaků.

Tabulka 21 Souhrnná tabulka změn u prováděných zkoušek na vzorcích před teplotní expozicí tedy původních a po maximální teplotní expozici tedy 27 dní při 130 °C [vlastní zpracování]

	0-27 dní, 130 °C					
Materiál	Pevnost	Tažnost	Barevnost	IČ analýza	El. mikroskopie	DSC
Bavlna	+++	+++	++	+	-	-
Vlna	+	+++	+++	+	+	+
Len	++++	++	++	+	-	-
Viskóza	+	+	++	+	-	-
Acetát	++	++++	++	+	-	+
PP	+	++	-	+	-	+
PES	-	-	-	-	+	+
PAN	-	++	++++	+	-	+
PA	++++	++++	+++	+	-	+

Vysvětlivky pro pevnost, tažnost a barevnost:

Změna 0-3%: -

Změna 4-10%: +

Změna o 11-40%: ++

Změna o 41-70%: +++

Změna o 71-100%: ++++

Vysvětlivky pro IČ analýzu, El. mikroskopii a termickou analýzu:

Změna nenastala: -

Změna nastala: +

Závěr

Výsledkem této diplomové práce je studie na velkém množství materiálů, které byly podrobeny unikátnímu dlouhodobému působení teplot v intervalu od 80°C do 130°C. Cílem bylo posoudit mechanické a další změny těchto materiálů. Tato studie byla vypracována z důvodu neznámé rychlosti stárnutí textilních materiálů a to zejména na bázi syntetických polymerů. V současné době se při predikci stárnutí textilií vychází ze studií prováděných na celulóze ve formě papíru, která plně neodpovídá ani celulóзовých textiliím. U syntetických materiálů lze předpokládat i výrazný vliv teploty zesklenní.

Co se týče vlastností, tak analýza byla dokončena u mechanických vlastností, přičemž byly naměřeny pevnosti, tažnosti a srážení. U těchto analýz bylo prokázáno, že některé materiály na teplotu nebyly citlivé téměř vůbec (např. polyester) naopak u jiných materiálů byl vliv na pokles jejich pevnosti velmi výrazný (z vláken přírodních např. bavlna, len, z vláken syntetických například polyamid).

Další testy teplotně exponovaných textilií byly prováděny z časových důvodů pouze na vzorcích před tepelnou expozicí a na vzorcích po nejdelší expozici 27 dní při 130°C. Byly provedeny dílčí analýzy jako měření barevnosti, elektronová mikroskopie, infračervená analýza a termická analýza.

Bylo prokázáno, že při teplotní expozici při 130 °C po dobu 27 dní, oproti vzorku bez teplotní expozice nastaly tyto změny:

U bavlny vlivem teplotní expozice pevnost i tažnost značně klesla. Změny chemických skupin dle FTIR jsou malé, expozicí klesá množství vázaných vodíkových můstků. Bavlna po expozici teplem změnila barvu – zežloutla, ztmavla, naopak elektronová mikroskopie neprokázala žádné změny ve struktuře vláken. Při termické analýze se změny v bavlně téměř neprojevíly.

Vlna svoji pevnost po dlouhodobé tepelné expozici téměř nezměnila, u tažnosti byl pokles již výraznější. V rámci infračervené analýzy nastaly změny ve čtyřech oblastech, největší změnou je rostoucí množství alkoholů, esterů a éterů. Barevný rozdíl vzorků u vlny byl značný – vlna výrazně zežloutla, mnohem více než bavlna. V pohledu elektronové mikroskopie bylo vidět, jak na povrchu vlákna praskají šupinky. Při

termické analýze bylo vidět, že vzorek po teplotní expozici byl teplem stabilizován a stal se tak méně citlivý na teplotu a jeho rozklady se posunuly k vyšším teplotám.

U polyesteru nelze pozorovat žádnou změnu pevnosti, tažnost se taktéž nezměnila. Infračervená analýza neprokázala vůbec žádné chemické změny a změny v barevnosti se také neprokázaly. Ovšem v elektronové mikroskopii byly na vláknech zřejmé změny a pravděpodobně se jednalo o krystalizaci nečistot (pravděpodobně jde o oligomery) na povrchu. Termická analýza ukázala, že se polyester působením teploty stabilizoval, došlo k potlačení změn v materiálu vlivem nárůstu teploty při termické analýze.

Co se týče pevnosti u viskózy, téměř nijak se nezměnila a tažnost mírně vzrostla. Infračervená analýza ukázala stejně jako u bavlny jen změny v oblasti vodíkových můstků, jejich množství teplotní expozicí klesá. Při měření barevnosti byly změny o něco větší než u bavlny - viskóza výrazně zežloutla. Elektronová mikroskopie a termická analýza neprokázaly žádné změny mezi materiály před a po tepelné expozici.

U acetátu byl zaznamenán pokles pevnosti a výrazný pokles tažnosti. Infračervená analýza odhalila změny také jen v oblasti vázaných vodíkových můstků, jejich množství expozicí klesá. Změna barevnosti nastala – materiál mírně zežloutl/ztmavnul. Elektronová mikroskopie neodhalila žádné strukturální změny. Termická analýza ukázala, že vlivem teplotní expozice došlo ke zvýšení teplotní stability a extrémní křivky se posunuly k vyšším teplotám.

U polyamidu pevnost klesla výrazně, změny lze pozorovat při všech tepelných expozicích i časech, jeho tažnost má průběh obdobný jako pevnost. Infračervená analýza poukázala na změny ve dvou oblastech, jednou z nich jsou opět vázané vodíkové můstky, kdy jejich množství expozicí klesá a pak je to v oblasti aldehydů a ketonů, kdy jejich množství expozicí roste. Změna barevnosti se projevila velmi výrazně, materiál výrazně zežloutl a ztmavl. Elektronová mikroskopie neodhalila žádné změny. Termická analýza ukázala, že exponovaný vzorek začíná tát při nižší teplotě než vzorek neexponovaný. U polyamidu lze konstatovat, že došlo depolymeraci.

Polypropylen změnu pevnosti neprokázal a tažnost klesla jen mírně. Infračervená analýza ukázala změnu ve dvou oblastech a to opět u vázaných vodíkových můstků, ovšem zde naopak jejich množství expozicí vzrostlo a v oblasti aromátů, množství expozicí také vzrostlo. Barevnost a elektronová mikroskopie

neprokázaly téměř žádné změny. Termická analýza ukázala že, teploty jsou stejné jak na původním tak exponovaném vzorku, ovšem exponovaný vzorek vykazuje odlišný průběh v oblasti teploty tání.

Působení teploty na vzorek polyakrylonitrilu nemělo na pevnost téměř žádný vliv, tažnost klesla mírně. Ovšem polyakrylonitril vykázal největší změny ze všech vzorků u infračervené analýzy. Velké změny nastaly v oblasti aromátů, kdy jejich množství expozicí roste, dále pak v kyanidové oblasti, expozicí množství jasně kleslo a dále pak ve vázaných vodíkových můstcích, expozicí množství opět kleslo. Barevnost ukázala opět nejvýraznější změnu ze všech vzorků, materiál výrazně zhnědl. Elektronová mikroskopie žádné změny nezaznamenala. Termická analýza ukázala, že vzorek předem exponovaný se nerozkládá tak výrazně jako materiál neexponovaný.

Vlivem teplotní expozice pevnost lnu výrazně klesla, tažnost klesla také, ovšem jen mírně. Infračervená analýza ukázala změny v oblasti vázaných vodíkových můstků – expozicí množství kleslo a v oblasti vazeb aldehydů, esterů a ketonů – expozicí jejich množství vzrostlo. U barevnosti lze opět zaznamenat změny – materiál zežloutl. Elektronová mikroskopie a termická analýza stejně jako u bavlny neprokázaly žádné změny.

Z hlediska zkoušení mechanických vlastností je možno říci, že materiály jako bavlna a len, tedy přírodní/celulózní materiály jsou na teplotě závislé a jejich pevnost vlivem teploty klesá. Z testů se ukázalo, že syntetické materiály mají jiný princip stárnutí a nedochází k tomu, že by pevnost vlivem teploty tolik klesala (vyjma polyamidu). Dá se říci, že syntetické materiály vykazují mnohem větší odolnost proti dlouhodobé teplotní expozici do 130°C než materiály přírodní/celulózní.

Hlavním přínosem této práce je, že byla získána velká množství vzorků, které budou dále analyzovány v následných pracích. Zejména například analýza barevnosti, může být vhodným kritériem pro posouzení vzniklých barevných změn všech materiálů. Získaná data budou využita, i když se jedná převážně o zkoušky orientační. Potenciál této práce je v tom, aby se v analýze vzorků pokračovalo a získaná data nebyla jen orientační.

V rámci práce byl analyzován vliv působení teploty na změnu pevnosti polyamidové textilie. Na základě vypočtené aktivační energie procesu byl navržen model predikující změny pevnosti polyamidových přízí při různých teplotách a různých

časech. Tohoto modelu lze použít pro predikci rychlosti stárnutí za konkrétních podmínek skladování.

Seznam zdrojů

- [1] BLAŽEJ, A. a ŠUTÁ Š. *Vlastnosti textilných vláken*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1982, 430 s. Edícia literatúry pre spotrebný priemysel (Alfa).
- [2] PINNER, S. *Poveternostné starnutie a degradácia plastických hmôt*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1973, 138 s.
- [3] GRALIŇSKI, M. *Chemicko-technické textilní rozbory*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1967. 288. s. L21-B3-IV-31/8765/VIII
- [4] VOJTĚCH, D. *Materiály a jejich mezní stavy*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [5] *Muzea, památky a konzervace ...: Museums, monuments and conservation ..* Brno: Technické muzeum v Brně, 2005.
- [6] KRČMA, L. *Degradace textilních vláken a ochrana proti ní*. 1. vyd. Český Těšín: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1976. 163. s. PV 866/77
- [7] *Faktory způsobující korozi a degradaci polymerů* [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_2.pdf
- [8] *Koroze a degradace přírodních textilních vláken* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_6.pdf
- [9] *Ilamparna: Restaurování sbírkových předmětů* [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://www.ilamparna.webz.cz/1dalsi.htm>
- [10] *Journal of the American Institute for Conservation* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupný z: <http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic25-01-004.html>
- [11] *Chemické listy*. Praha: Průmyslové vydavatelství, R.1978 Roč.102 (72) Červenec-Prosinec. ISSN 0009-2770.
- [12] *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická: Zkoušky stárnutí* [online]. [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_14.pdf
- [13] ĎUROVIČ, Michal a kol. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2002. 517 s. ISBN 80-7185-383-6.
- [14] FAMFULÍK, Jan, KRZYŽANEK, Radek a GALVAS, Peter. *Zkoušky spolehlivosti: (vybrané stochastické metody)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. 64 s. ISBN 978-80-248-2277-8.

- [15] ISO 5630/1. *Paper and board - accelerated ageing,- Part 1: Dry heat treatment*. Switzerland: INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, 1982.
- [16] ISO 5630/3. *Paper and board - accelerated ageing,- Part 3: Moist heat treatment at 80°C and 65% relative humidity*. Switzerland: INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, 1986.
- [17] *Journal of Materials Science, January 2002*, Volume 37, Issue 2, [online]. [cit: 2015-10-25]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1013696127691>
- [18] *Škola textilu* [online]. [cit. 2015-09-06]. Dostupné z: <http://www.skolertextilu.cz/elearning/455/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Textilni-vlakna-jako-surovina-jejich-morfologie-vlastnosti-oznacovani-pri-prodeji-a-jeho-identifikace.html>
- [19] HLADÍK, V, a kol. *Textilní vlákna: [vysokoškolská příručka]*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1970. 299 s. Řada textilní literatury.
- [20] STANĚK, J. *Textilní zboží: vlákenné suroviny, příze, nitě*. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita, 2006. 114. s. ISBN 80G7372G147G3
- [21] *Skupenská tepla* [online]. [cit. 2015-09-06]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/8_3
- [22] *Splung: Latent heat* [online]. [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://www.splung.com/content/sid/6/page/latentheat>
- [23] *Textilní vlákna: Klasická a speciální* [online]. [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-10-04/08-24-07.pdf
- [24] KOZMÁL, František. *Výroba papiera v teorii a praxi*. Bratislava: Sloven. vyd. techn. lit., 1958- . 1 sv. Edícia drevárskej a celulózopapierenskej liter.
- [25] ZUMAN, František, VYKYDAL, Miroslav a KORDA, Josef, ed. *Papír: historie řemesla a výrobní techniky*. [Praha: s.n.], 1983. 272 s.
- [26] EDITED BY S. EICHHORN, edited by S.J. *Handbook of textile fibre structure volume 2*. 1. publ. Cambridge: Woodhead Pub, 2009. ISBN 9781845697303.
- [27] POSPÍŠIL, Z., ed. *Příručka textilního odborníka*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981. 1 sv., 1298 s.
- [28] *Vysocefunkční textilie* [online]. [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2014-01-13/10-06-20.pdf

- [29] HLADÍK, V., MIKLAS, Z. a KOZEL, T. *Textilní materiály: učebnice pro I. ročník středních průmyslových škol textilních, studijní obory 31-21-6 Přádělnictví, 31-22-6 Tkalcovství, 31-23-6 Pletařství a 31-24-6 Chemická technologie textilu*. Vydání 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977. 225 stran. Řada textilní literatury.
- [30] FELIX, V. a KYSLINGER, V.. *Chemicko-technické textilní rozborů. Sv. 2, Rozborů textilních pomocných přípravků a barviv. Zkoušení textilního materiálu*. 1. vyd. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1951. s. 597-1276 s. Knihnice textilního a oděvního průmyslu; sv. 11.
- [31] *Chemické listy* [online]. [cit. 2015-09-06]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/download/chl88-366/88-366.html>
- [32] *Diplomová práce: STANOVENÍ STÁRNUTÍ BAVLNY POMOCÍ ZMĚNY POLYMERACNÍHO STUPNĚ CELULÓZY* [online]. [cit. 2015-09-06]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/7349/Sperova_DP.pdf?sequence=1
- [33] MLEZIVA, Josef a Jaroslav KÁLAL. *Základy makromolekulární chemie*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 380 s.
- [34] STANĚK, Jaroslav, HYNČICOVÁ, Jana a KOVAČIČ, Vladimír. *Nauka o textilních materiálech. díl I., část 2, Struktura získávání a výroba vláken*. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1986. 209 s.
- [35] JEŽEK, Josef, ed. *Zpracování polyesterových vláken*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969. 262, [2] s. Řada textilní lit. Technická minima textilního prům.; Sv. 34.
- [36] *TextileWorld: Man-made fibers continue to grow* [online]. [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://www.textileworld.com/textile-world/fiber-world/2015/02/man-made-fibers-continue-to-grow/>
- [37] ČSN 80 0101: *Bavlněná doprovodná tkanina*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1983.
- [38] ČSN 80 0107: *Vlněná doprovodná tkanina*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1981.
- [39] ČSN 80 0108: *Doprovodná tkanina z polyesterové stříže*. Praha 10: Český normalizační institut, 1979.
- [40] ČSN 80 0100: *Doprovodná tkanina z viskóзовé stříže*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1982.

- [41] ČSN 80 0105: *Doprovodná tkanina z acetátového hedvábí*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1969.
- [42] ČSN 80 0117: *Doprovodná tkanina z polyamidového hedvábí*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1984.
- [43] ČSN 80 0109: *Doprovodná tkanina z polypropylenové stříže*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1970.
- [44] ČSN 80 0112: *Doprovodná tkanina z polyakrylonitrilové stříže*. Praha 10 - Hostivař: Vydavatelství ÚNM, 1970.
- [45] MEZOS: *Laboratorní sušárna Venticell 55 - standard* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.mezos.cz/documents/Venticell.pdf>
- [46] VERKON: *Sušárna ECOCELL® s přirozenou cirkulací vzduchu* [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.verkon.cz/susarna-ecocellu-s-prirozenou-cirkulaci-vzduchu-bmt>
- [47] UNIMED: *Sušárna Memmert UNB 400* [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.unimed.cz/susarna-unb400>
- [48] *Zkoušení textilií: Mechanické vlastnosti* [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2015-04-09/08-59-02.pdf
- [49] *Infračervená spektroskopie: Palackého univerzita v Olomouci* [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://fch.upol.cz/skripta/zfcm_pred/4_ir_raman.pdf
- [50] *Infračervená spektroskopie: Katedra analytické chemie UK v Praze* [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/analchem/pprakt/ftir.pdf>
- [51] *Fyzikálně chemická laboratoř nanomateriálů: Přístroje a vybavení* [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://cxi.tul.cz/pdf/mv-laboratore/NANO-laborator-Sedlbauer.pdf>
- [52] *Infračervená spektroskopie* [online]. [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://fch.upol.cz/skripta/zfcm/ir/ir.pdf>
- [53] *REFLEXE POŽADAVKŮ PRŮMYSLU NA VÝUKU V OBLASTI AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ A MĚŘENÍ* [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.fm.tul.cz/esf0247/index.php?page=vysledky>
- [54] *Vlastnosti vláken* [online]. [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-04-15/11-10-54.pdf
- [55] *Technický popis a návod k obsluze: Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130*. TESCAN, s.r.o. 2000.

- [56] *Laboratoř analytických metod* [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://cxi.tul.cz/laborator-analytickych-metod-ing-vladimir-kovacik.html>
- [57] *Metody termické analýzy: Termické metody všeobecně* [online]. [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-04-17/08-42-53.pdf
- [58] *Metody termické analýzy: Diferenční scanovací kalorimetrie* [online]. [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-04-17/08-43-03.pdf
- [59] *Diferenciální skenovací kalorimetrie* [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p4/DSC2.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1 Napadení knižních vazeb plísní	18
Obrázek 2 Rozdělení přírodních a chemických vláken	23
Obrázek 3 Přeměny skupenství látek	26
Obrázek 4 Produkce bavlny ve světě	29
Obrázek 5 Produkce syntetických vláken	34
Obrázek 6 Vývoj poptávky textilních vláken	36
Obrázek 7 Sušárna Venticell 55 standard	45
Obrázek 8 Sušárna Ecocell s přirozenou cirkulací	45
Obrázek 9 Sušárna Memmert UNB 400	45
Obrázek 10 LabTest 2.010	46
Obrázek 11 Charakteristika křivky při zkoušení mechanických vlastností	47
Obrázek 12 Infračervený mikroskop iN10 MX s vedlejším vzorkovacím prostorem iZ10 FTIR.....	48
Obrázek 13 Ukázka počítačové grafiky – RGB modelu.....	51
Obrázek 14 Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130.....	52
Obrázek 15 Diferenční skenovací kalorimetr DSC Perkin Elmer	53
Obrázek 16 Pevnost všech materiálů v časech 0-27 dní při teplotní expozici 130 °C ...	54
Obrázek 17 Tažnost všech materiálů v časech 0-27 dní při teplotní expozici 130 °C ...	55
Obrázek 18 Spektra bavlny původní a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní ...	56
Obrázek 19 Spektra vlny původní a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní.....	57
Obrázek 20 Spektra PES původního a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní ...	58
Obrázek 21 Spektra viskózy původní a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní..	58
Obrázek 22 Spektra acetátu původního a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní	59
Obrázek 23 Spektra PA původního a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní.....	59
Obrázek 24 Spektra PP původního a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní.....	60

Obrázek 25 Spektra PAN původního a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní..	60
Obrázek 26 Spektra lnu původního a po tepl. expozici 130 °C po dobu 23 a 27 dní.....	61
Obrázek 27 Termická analýza – Bavlna	67
Obrázek 28 Termická analýza – Vlna.....	67
Obrázek 29 Termická analýza – Polyester	68
Obrázek 30 Termická analýza – Viskóza	69
Obrázek 31 Termická analýza – Acetát.....	69
Obrázek 32 Termická analýza – Polyamid	70
Obrázek 33 Termická analýza – Polypropylen.....	71
Obrázek 34 Termická analýza – Polyakrylonitril	72
Obrázek 35 Termická analýza – Len	73
Obrázek 36 Lineární regrese pro teplotu 130 °C	75
Obrázek 37 Lineární regrese pro teplotu 80 °C	75
Obrázek 38 Závislost aproximovaných hodnot pevností na reálně změřených hodnotách pevností pro různé teploty a časy.....	75
Obrázek 39 Linearizovaná data teplotní závislosti podle Arrheniova modelu.....	77

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vliv teplého vzduchu na pevnost textilních vláken.....	24
Tabulka 2 Vliv teplého vzduchu na pevnost textilních vláken.....	25
Tabulka 3 Teplota tání a teplota skelného přechodu některých vláken	26
Tabulka 4 Změna hodnoty PPS při zahřívání bavlny po dobu 5 hodin při uvedených teplotách	30
Tabulka 5 Seznam použitých tkanin a jejich normy.....	39
Tabulka 6 Parametry bavlněné doprovodné tkaniny	40
Tabulka 7 Parametry vlněné doprovodné tkaniny	40

Tabulka 8 Parametry doprovodné tkaniny z polyesterové stříže	41
Tabulka 9 Parametry doprovodné tkaniny z viskózové stříže	41
Tabulka 10 Parametry doprovodné tkaniny z acetátového hedvábí	42
Tabulka 11 Parametry doprovodné tkaniny z polyamidového hedvábí	42
Tabulka 12 Parametry doprovodné tkaniny z polypropylenové stříže	43
Tabulka 13 Parametry doprovodné tkaniny z polyakrylonitrilové stříže	43
Tabulka 14 Parametry lněné tkaniny zakoupené jako metráž	44
Tabulka 15 Přehled vybraných valenčních vibrací.....	49
Tabulka 16 Přehled vybraných významných charakteristických deformačních vibrací	49
Tabulka 17 Výsledky měření barevnosti – hodnota B složky vzorku	62
Tabulka 18 Výsledky měření - elektronová mikroskopie.....	63
Tabulka 19 Naměřené rozměry vzorků před teplotní expozicí a po teplotní expozici při 130 °C a době 27 dní v mm	74
Tabulka 20 Rychlostní konstanty při různých teplotách	76
Tabulka 21 Souhrnná tabulka změn u prováděných zkoušek na vzorcích před tepl. expozicí tedy původních a po maximální tepl. expozici tedy 27 dní při 130 °C	78

Seznam příloh

Příloha č. 1: Výsledky měření barevnosti.....	91
Příloha č. 2: Elektronová mikroskopie	100
Příloha č. 3: Rozměrová stálost	109
Příloha č. 4: Přehled vybraných valenčních vibrací a přehled významných charakter. deformačních vibrací	112
Příloha č. 5: Max. dosažená síla u všech materiálů při všech časech a teplotách.....	113
Příloha č. 6: Tažnost při max. dosažené síle materiálů při všech časech a teplotách...	116

Přílohová část**Příloha č. 1: Výsledky měření****barevnosti**

Bavlna původní



RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,37	225	7,28
Green	223,74	225	7,32
Blue	224,69	225	7,30

Bavlna 130 °C, 27 dní



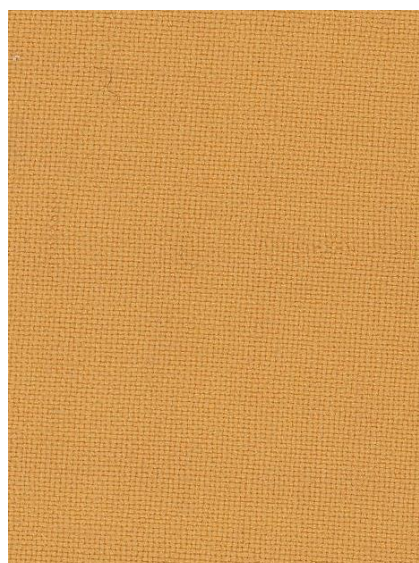
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,13	230	15,65
Green	203,32	212	16,91
Blue	170,12	177	17,15

Vlna původní



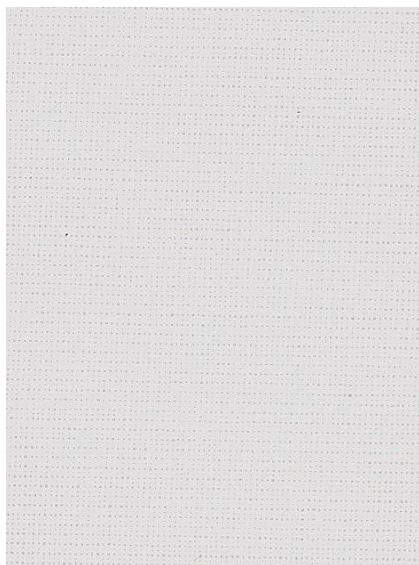
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	223,25	227	6,80
Green	213,06	216	6,85
Blue	198,89	202	6,96

Vlna 130 °C, 27 dní



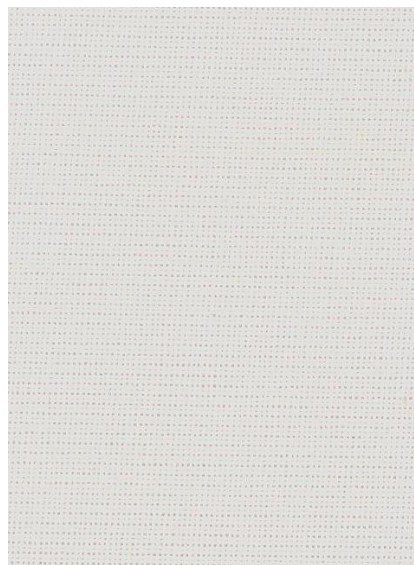
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	211,07	217	17,41
Green	152,85	161	17,86
Blue	80,59	88	17,86

Polyester původní



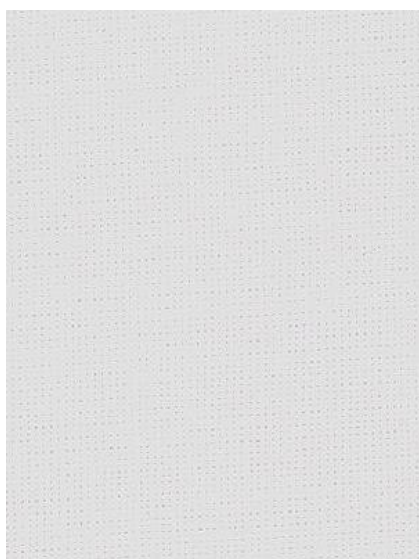
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,13	226	9,20
Green	222,50	225	9,24
Blue	223,24	225	9,22

Polyester 130 °C, 27 dní



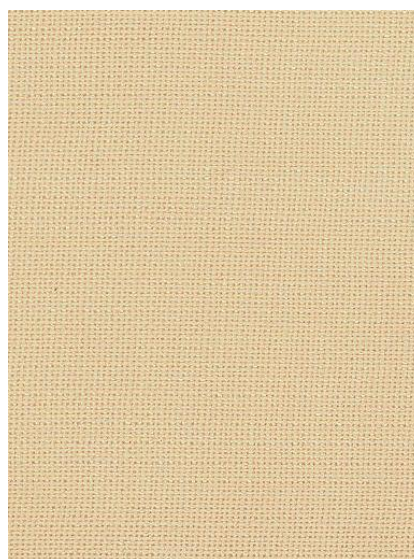
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	223,80	227	10,50
Green	221,83	226	10,70
Blue	217,73	221	10,63

Viskóza původní



RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,32	225	7,23
Green	223,85	225	7,26
Blue	224,15	225	7,24

Viskóza 130 °C, 27 dní



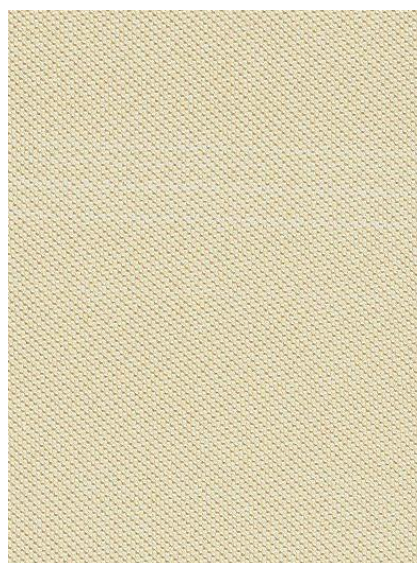
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,20	230	17,70
Green	201,47	211	20,03
Blue	160,78	168	20,07

Acetát původní



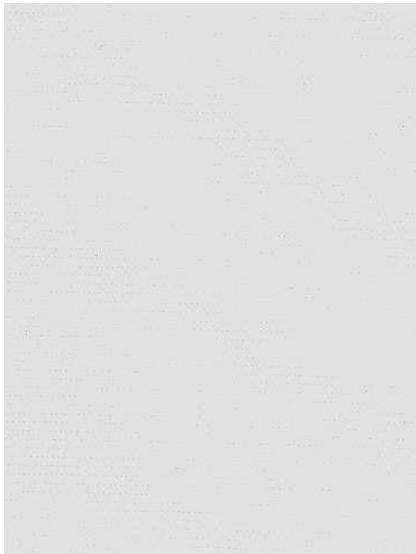
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	223,91	227	13,75
Green	222,64	226	13,77
Blue	223,28	226	13,75

Acetát 130 °C, 27 dní



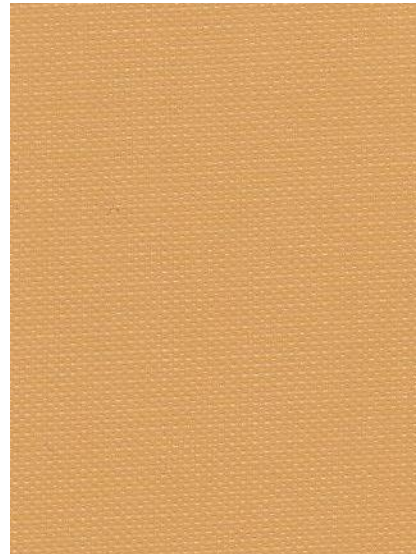
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	221,46	255	26,21
Green	211,38	255	27,82
Blue	179,39	185	29,29

Polyamid původní



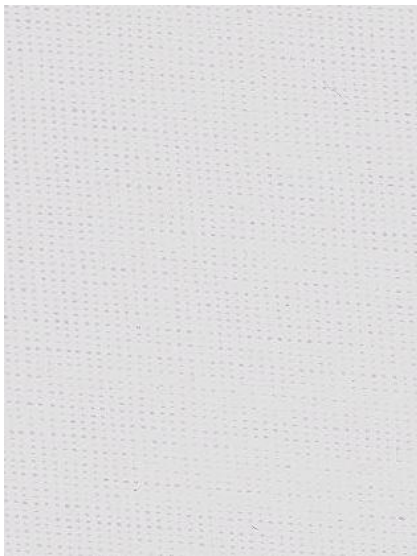
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,98	225	4,32
Green	224,98	225	4,31
Blue	224,98	225	4,32

Polyamid 130 °C, 27 dní



RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	218,27	217	9,87
Green	164,37	163	9,94
Blue	102,69	101	10,05

Polypropylen původní



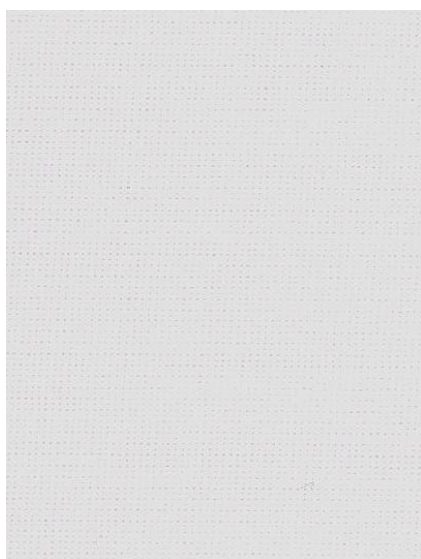
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,28	226	6,11
Green	223,21	225	6,16
Blue	224,57	226	6,14

Polypropylen 130 °C, 27 dní



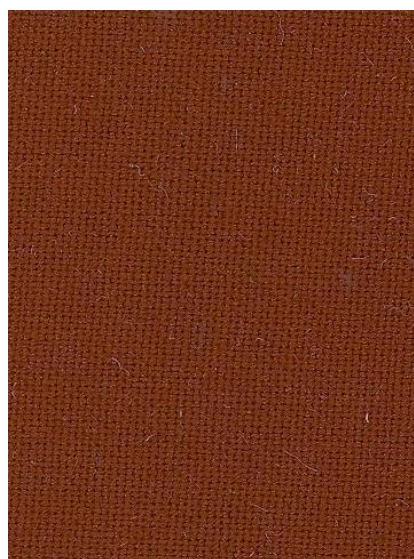
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,14	227	8,96
Green	220,68	224	9,08
Blue	217,56	221	9,13

Polyakrylonitril původní



RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	224,42	225	11,35
Green	224,06	225	10,98
Blue	224,25	225	9,41

Polyakrylonitril 130 °C, 27 dní



RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	11,22	115	20,87
Green	48,91	52	20,54
Blue	22,71	0	17,54

Len původní



Len 130 °C, 27 dní

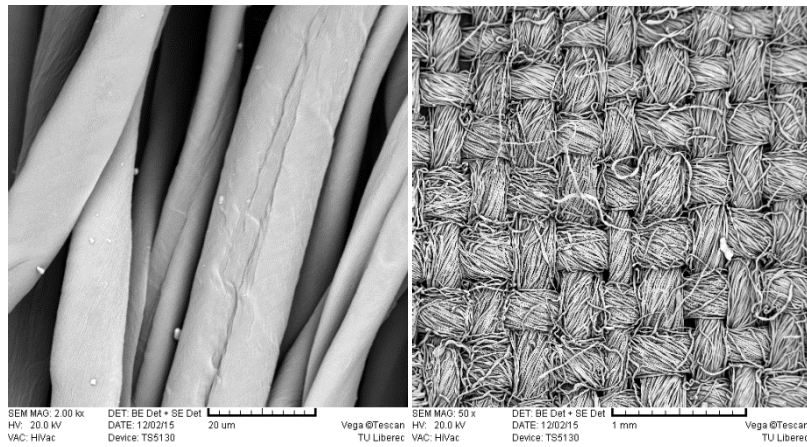


RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	213,30	255	12,32
Green	213,30	255	12,32
Blue	213,30	255	12,32

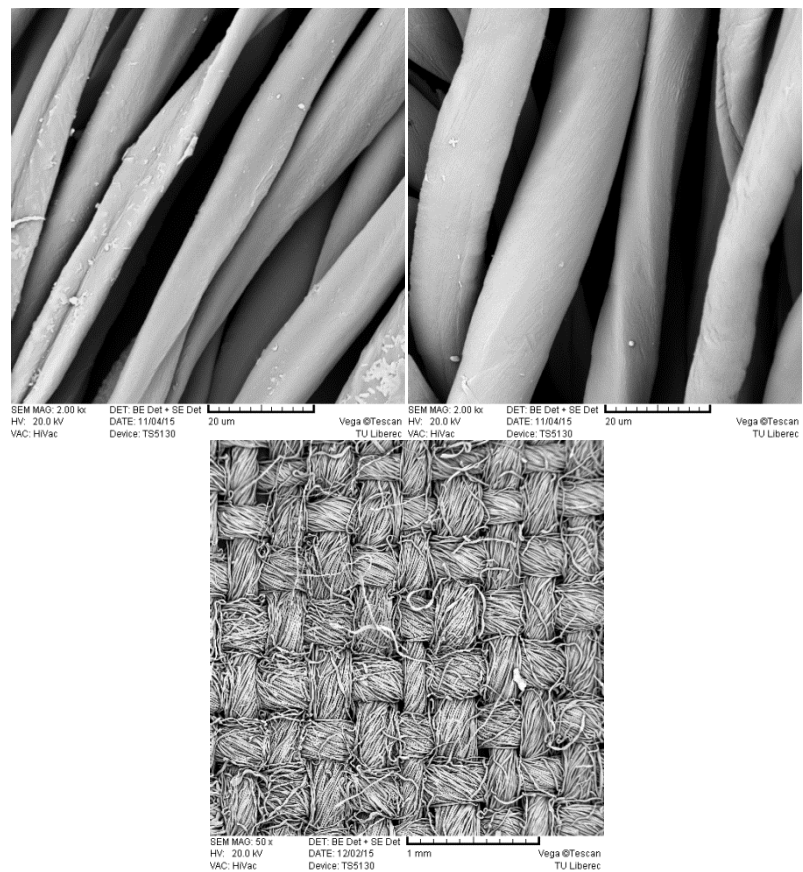
RGB	Průměrná hodnota	Modus	Směrodatná odchylka
Red	186,27	199	24,73
Green	168,30	180	24,82
Blue	138,41	150	24,95

Příloha č. 2: Elektronová mikroskopie

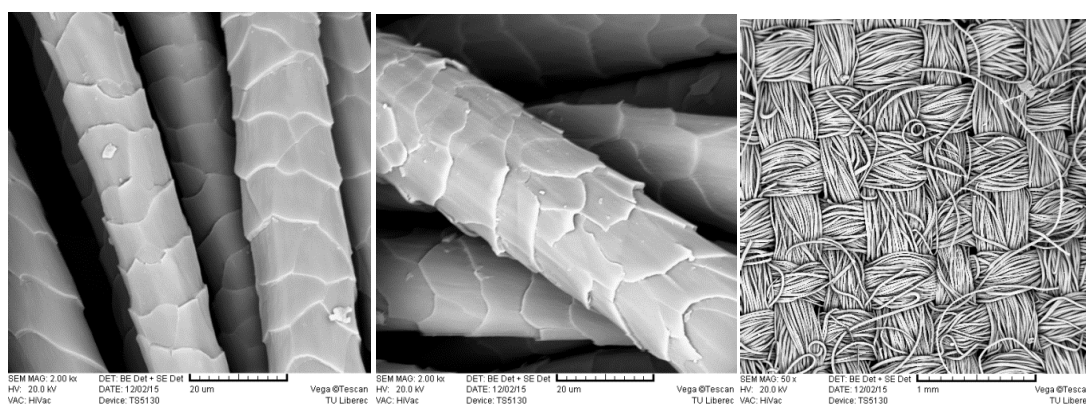
Bavlna – původní



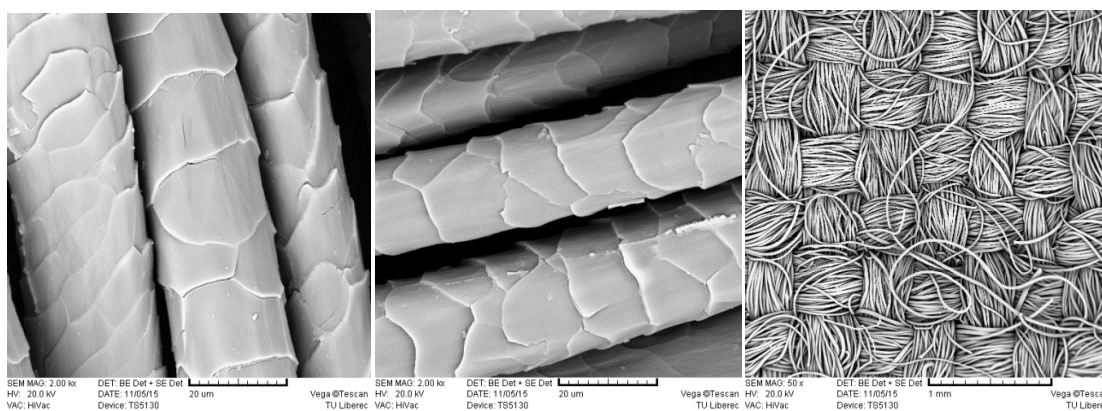
Bavlna - 130 °C, 27 dní

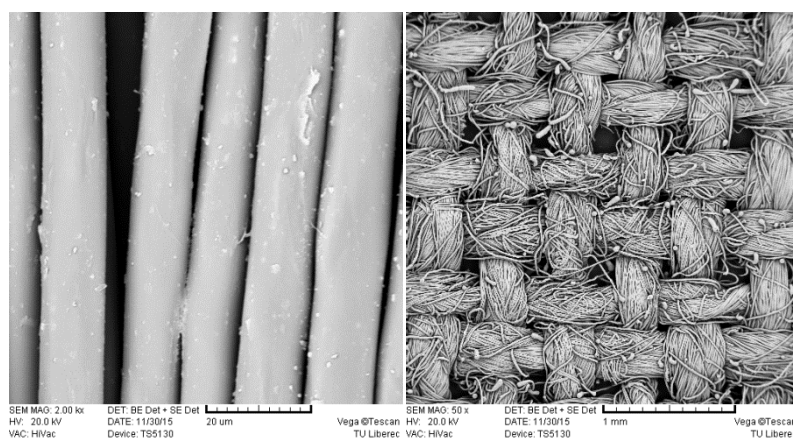
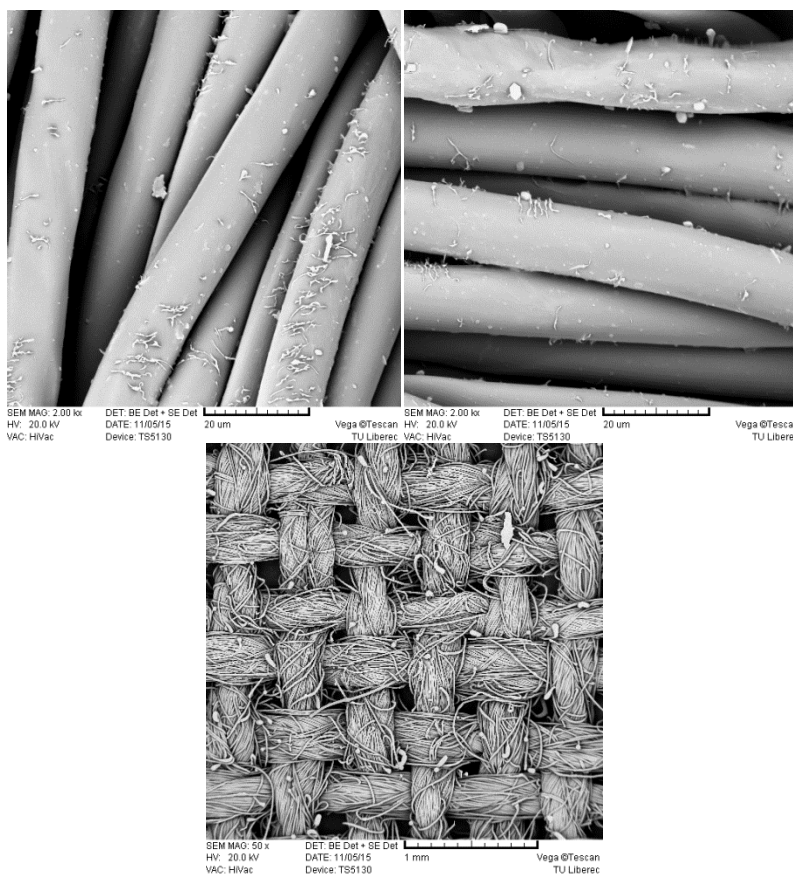


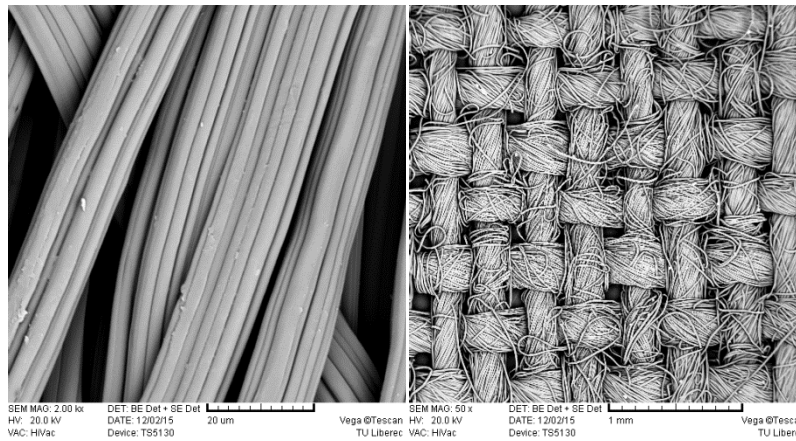
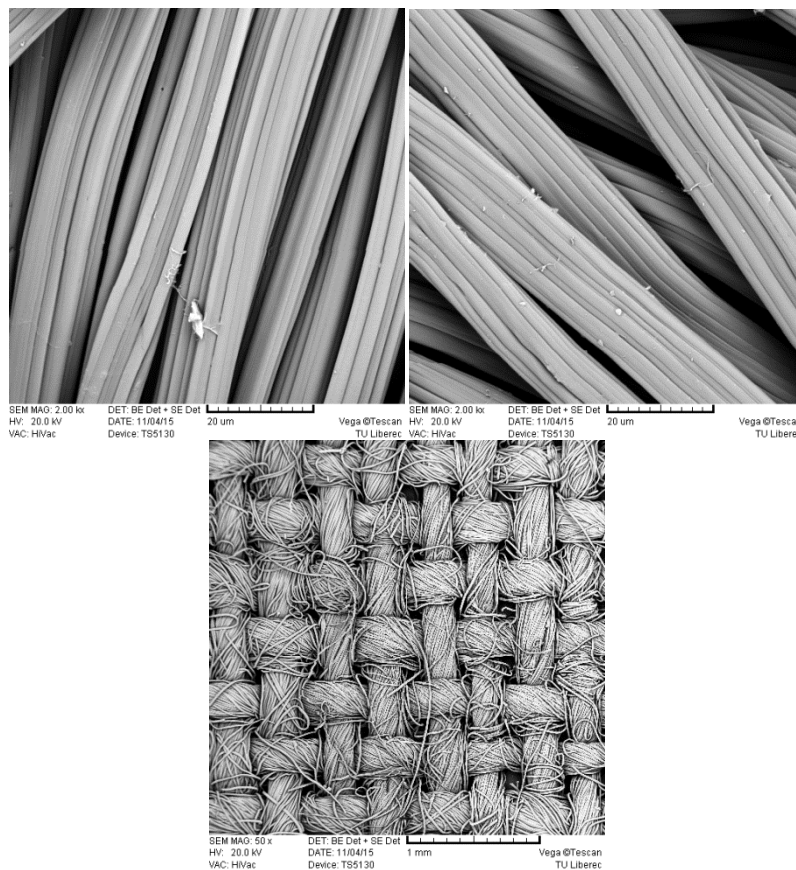
Vlna - původní

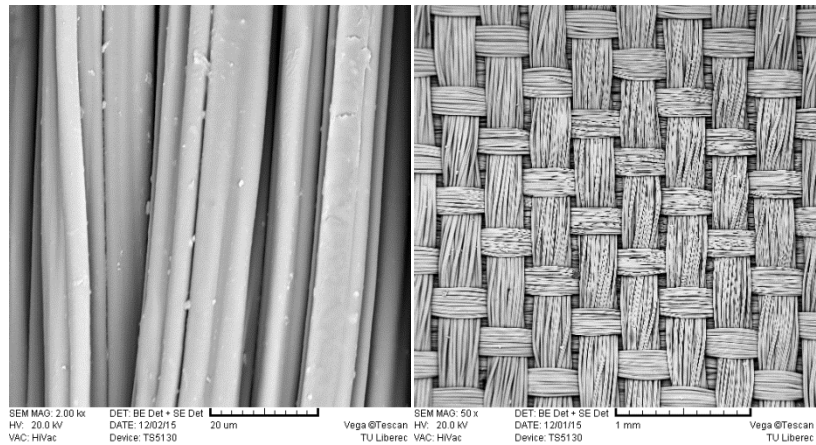
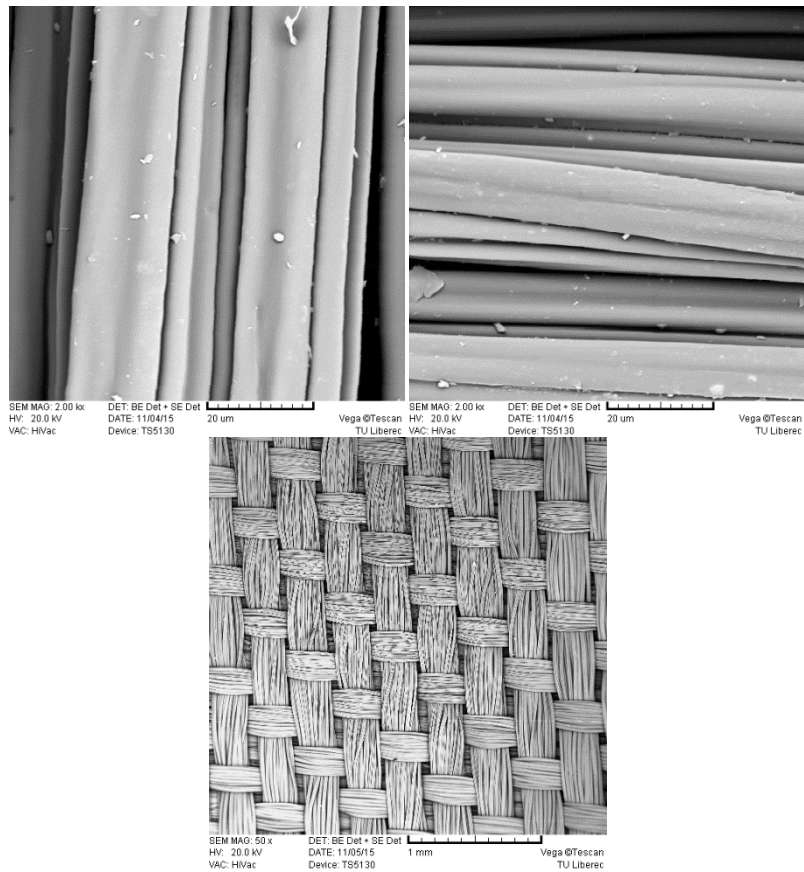


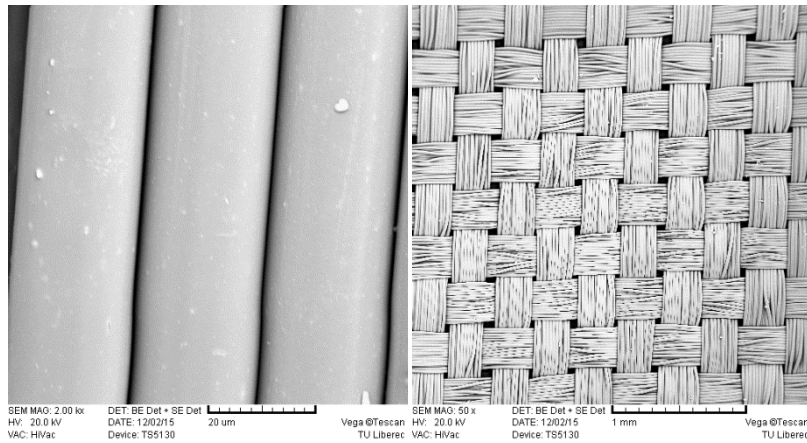
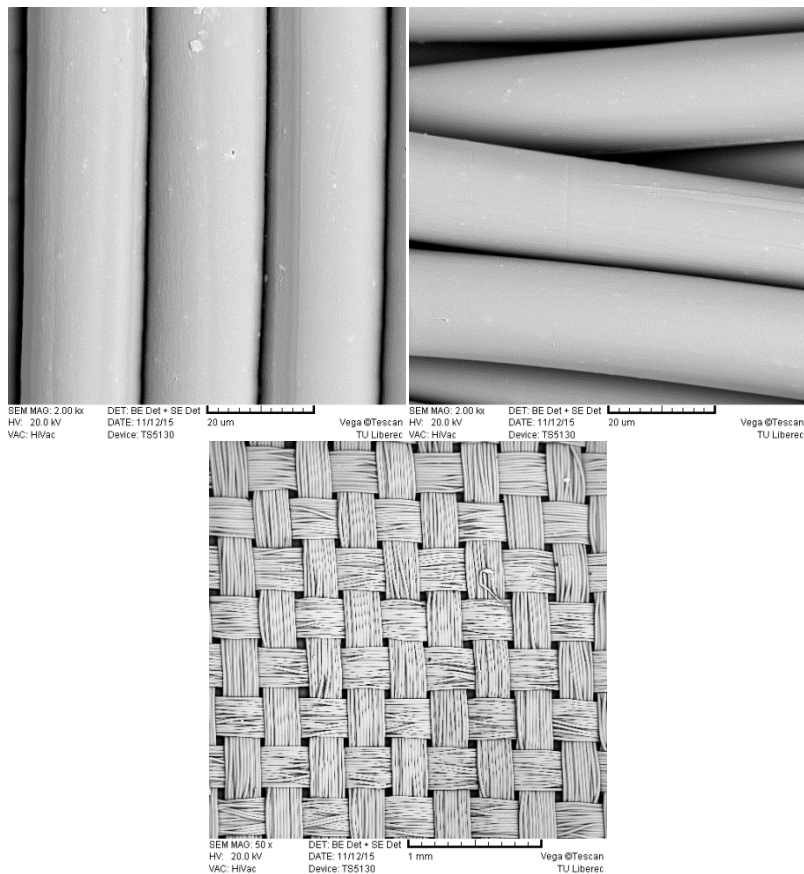
Vlna - 130 °C, 27 dní

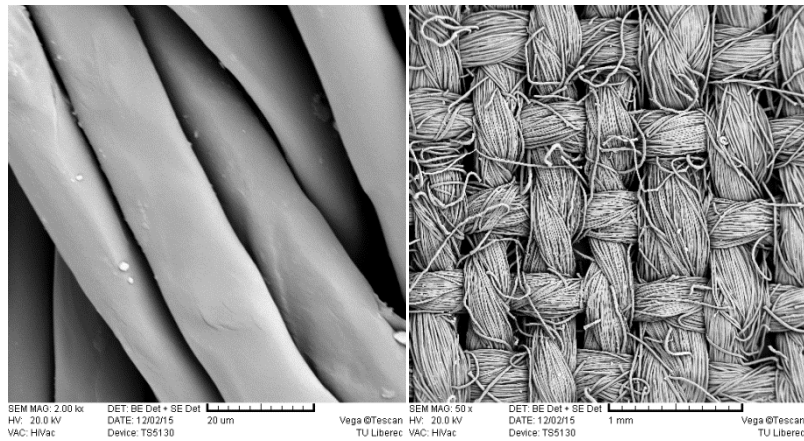
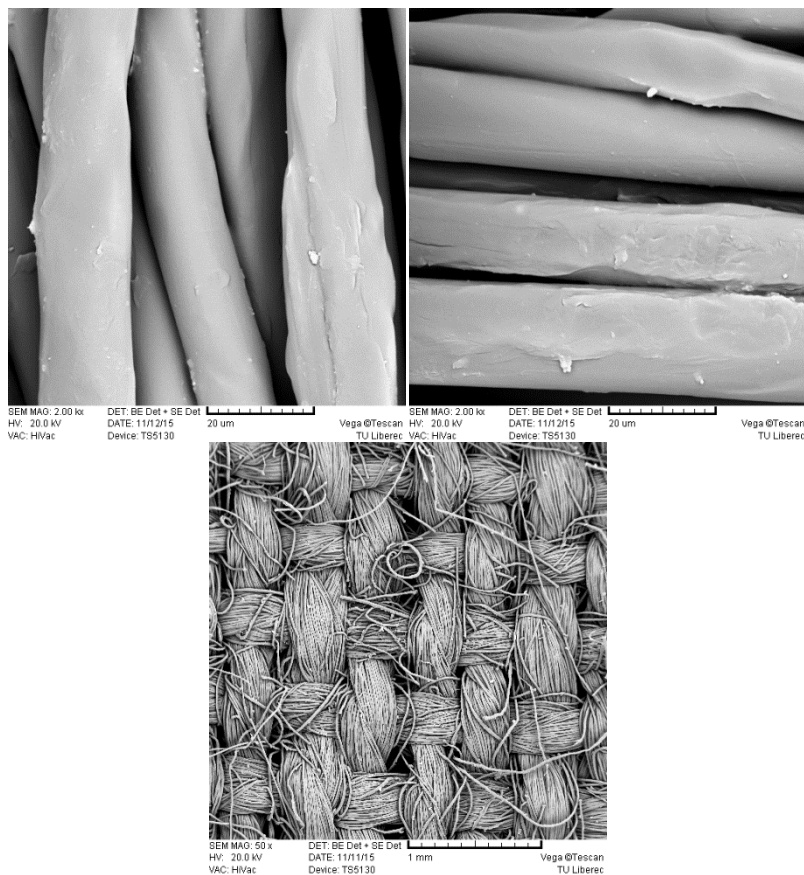


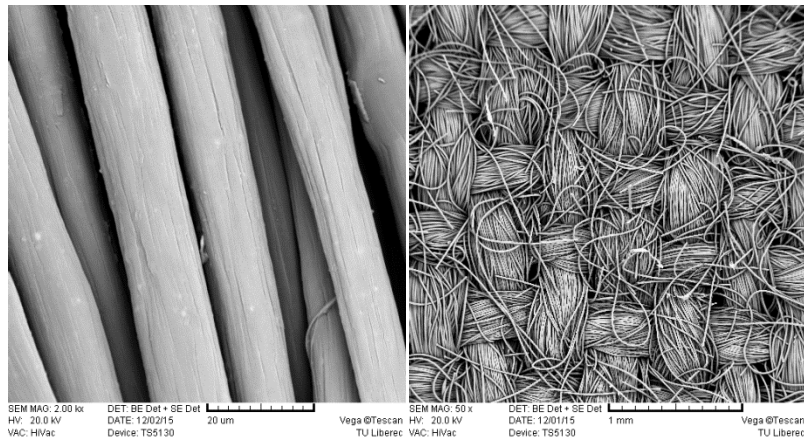
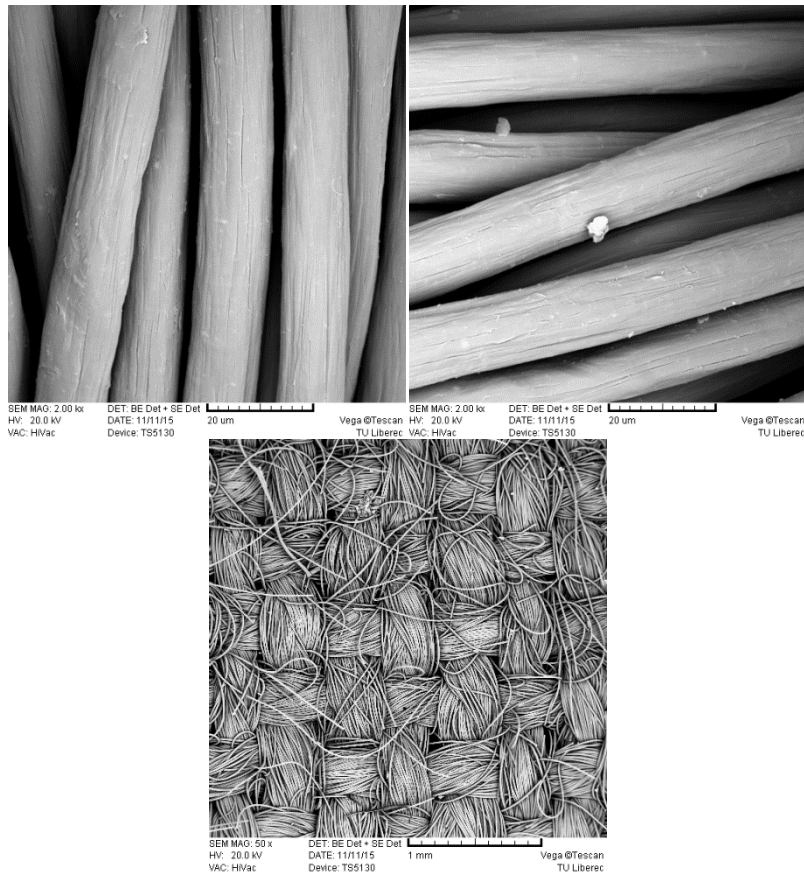
Polyester – původní**Polyester – 130 °C, 27 dní**

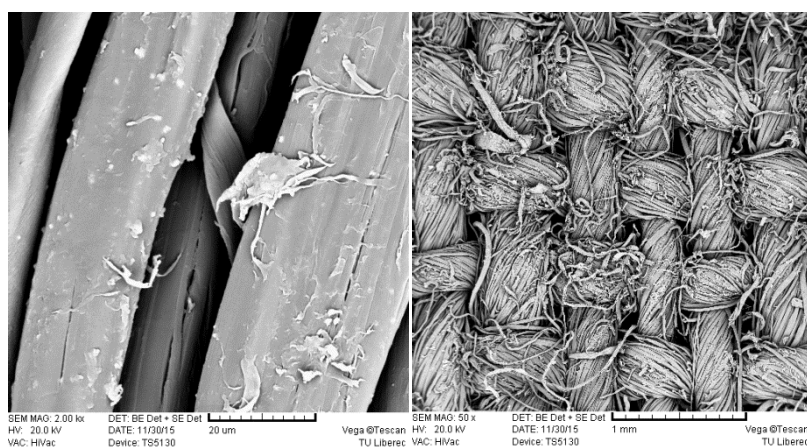
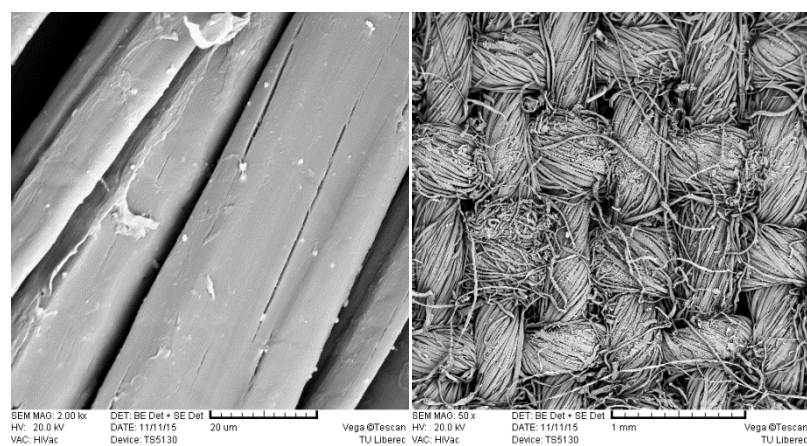
Viskóza – původní**Viskóza - 130 °C, 27 dní**

Acetát – původní**Acetát – 130 °C, 27 dní**

Polyamid – původní**Polyamid - 130 °C, 27 dní**

Polypropylen – původní**Polypropylen - 130 °C, 27 dní**

Polyakrylonitril – původní**Polyakrylonitril - 130 °C, 27 dní**

Len – původní**Len - 130 °C, 27 dní**

Příloha č. 3: Rozměrová stálost

BAVLNA	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30,2	12										
1	30,2	12	30,2	12	30,2	12	30,1	12	30,2	12	30,1	12
2	30,2	12	30,1	12	30,1	12	30	12	30,1	12	30,1	12
3	30,2	12	30,2	12	30,1	12	30	12	30	12	30	12
4	30,1	12	30,2	12	30,1	12	30,1	12	30	12	30,1	12
5	30,1	12	30,1	12	30	12	30	12	30,1	12	30,1	12
6	30,2	12	30,1	12	30,1	12	30,1	11,9	30	12	30	12
8	30,2	12	30,1	12	30	12	30,1	12	30	12	30,1	12
16	30,1	12	30	12	30	12	30	12	30,1	11,9	30	12
23	30,2	12	30,1	12	30	12	30,1	12	30	12	30,1	12
27	30,2	12	30,1	12	30,1	12	30,1	12	30,1	12	30,1	12

VLNA	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30	12										
1	29,8	11,9	29,8	11,9	29,8	11,8	29,8	11,8	29,8	11,9	29,8	11,8
2	29,8	11,8	29,7	11,8	29,6	11,7	29,6	11,7	29,6	11,7	29,6	11,7
3	29,7	11,8	29,8	11,8	29,6	11,7	29,6	11,7	29,5	11,7	29,6	11,7
4	29,8	11,8	29,8	11,8	29,5	11,6	29,5	11,7	29,7	11,7	29,4	11,6
5	29,6	11,7	29,7	11,8	29,5	11,6	29,5	11,6	29,6	11,7	29,4	11,6
6	29,6	11,8	29,6	11,8	29,6	11,6	29,6	11,7	29,4	11,7	29,4	11,6
8	29,8	11,8	29,8	11,8	29,6	11,7	29,5	11,6	29,6	11,7	29,4	11,6
16	29,8	11,8	29,6	11,7	29,6	11,7	29,5	11,6	29,4	11,6	29,4	11,6
23	29,7	11,8	29,6	11,7	29,6	11,6	29,4	11,5	29,5	11,7	29,3	11,6
27	29,7	11,8	29,5	11,7	29,6	11,7	29,4	11,6	29,3	11,7	29,2	11,5

PES	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	29,9	11,8										
1	29,8	11,8	29,8	11,9	29,7	11,9	29,7	11,7	29,7	11,8	29,6	11,7
2	29,8	11,8	29,7	11,8	29,7	11,8	29,6	11,6	29,5	11,7	29,5	11,7
3	29,7	11,8	29,8	11,8	29,6	11,8	29,6	11,7	29,4	11,8	29,5	11,7
4	29,9	11,8	29,8	11,7	29,7	11,7	29,6	11,7	29,5	11,7	29,3	11,6
5	29,7	11,8	29,8	11,8	29,7	11,8	29,6	11,7	29,5	11,7	29,3	11,5
6	29,8	11,8	29,8	11,8	29,7	11,7	29,3	11,8	29,5	11,7	29,4	11,5
8	29,7	11,8	29,7	11,7	29,6	11,7	29,6	11,6	29,5	11,7	29,4	11,6
16	29,7	11,7	29,7	11,8	29,6	11,7	29,4	11,7	29,4	11,6	29,3	11,6
23	29,8	11,8	29,7	11,8	29,6	11,7	29,5	11,7	29,3	11,6	29,3	11,6
27	29,8	11,8	29,6	11,8	29,6	11,7	29,3	11,6	29,4	11,7	29,3	11,6

VISKÓZA	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	29,6	11,6										
1	29,5	11,6	29,4	11,6	29,4	11,5	29,4	11,5	29,4	11,6	29,4	11,6
2	29,4	11,6	29,5	11,5	29,3	11,4	29,2	11,4	29,2	11,4	29,2	11,5
3	29,3	11,6	29,4	11,5	29,2	11,4	29,2	11,3	29,2	11,5	29,2	11,5
4	29,4	11,6	29,4	11,6	29,3	11,4	29,2	11,5	29,4	11,5	29,2	11,5
5	29,4	11,6	29,4	11,6	29,2	11,3	29,2	11,5	29,3	11,6	29,2	11,4
6	29,3	11,6	29,5	11,6	29,2	11,4	29,2	11,3	29,1	11,5	29,2	11,5
8	29,4	11,6	29,3	11,6	29,3	11,3	29,1	11,3	29,3	11,5	29,1	11,3
16	29,4	11,6	29,2	11,5	29,2	11,3	29,1	11,3	29,1	11,3	29,1	11,4
23	29,4	11,5	29,2	11,3	29,1	11,3	29	11,3	29,2	11,5	29	11,3
27	29,2	11,5	29,2	11,5	29,1	11,3	29	11,3	29	11,5	29	11,2

ACETÁT	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30	11,9										
1	30	11,9	29,9	11,8	29,9	11,9	29,8	11,9	29,9	11,8	29,9	11,8
2	30	11,9	29,9	11,9	29,8	11,9	29,8	11,8	29,7	11,8	29,7	11,9
3	29,9	11,9	29,9	11,8	29,8	11,8	29,7	11,8	29,7	11,7	29,7	11,7
4	29,8	11,9	29,9	11,9	29,8	11,8	29,8	11,9	29,6	11,7	29,7	11,8
5	29,8	11,8	29,9	11,9	29,8	11,9	29,7	11,8	29,7	11,7	29,6	11,8
6	29,8	11,8	29,9	11,9	29,7	11,9	29,7	11,8	29,7	11,8	29,6	11,8
8	29,8	11,9	29,8	11,7	29,7	11,8	29,7	11,8	29,7	11,7	29,6	11,8
16	29,8	11,9	29,8	11,8	29,8	11,9	29,7	11,8	29,7	11,8	29,5	11,7
23	29,8	11,8	29,8	11,7	29,7	11,9	29,7	11,8	29,6	11,7	29,6	11,8
27	29,8	11,8	29,8	11,7	29,7	11,9	29,7	11,9	29,6	11,7	29,5	11,6

PA	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30	12										
1	30	12	30	12	30	12	30	12	29,9	12	29,9	11,9
2	29,9	12	29,9	11,9	29,9	12	29,9	11,9	29,7	12	29,9	11,9
3	30	12	30	11,9	29,8	12	30	11,9	30	11,9	29,9	11,9
4	29,9	12	30	11,9	29,8	11,9	29,7	11,9	30	11,9	29,7	11,9
5	30	12	29,9	11,9	29,8	12	29,8	11,9	29,8	11,9	29,6	11,8
6	30	12	29,9	11,9	29,7	11,9	29,9	11,9	29,8	11,9	29,7	11,9
8	30	12	30	12	29,8	12	29,8	11,8	29,7	11,9	29,9	11,8
16	30	12	30	12	29,8	12	29,9	11,9	29,7	11,9	29,8	11,8
23	30	12	30	12	29,8	12	29,9	11,9	30	11,9	29,9	11,7
27	30	12	29,9	11,9	29,8	12	29,8	11,9	30	11,9	29,9	11,8

PP	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30	12										
1	30	12	30	12	30	11,9	29,5	11,9	29,8	11,8	29,4	11,8
2	30	12	29,9	11,9	29,9	11,9	29,5	11,9	29,9	11,8	29,7	11,7
3	29,9	11,8	30	11,8	29,9	11,8	29,3	11,8	29,8	11,7	29,4	11,6
4	29,8	11,9	30	11,9	29,6	11,8	29,4	11,9	29,6	11,8	29,4	11,6
5	29,7	11,8	29,7	12	29,5	11,8	29,9	11,8	29,6	11,7	29,1	11,7
6	29,8	11,9	29,7	11,9	29,6	11,8	29,6	11,8	29,8	11,8	29,2	11,6
8	30	11,9	29,9	11,8	29,9	11,8	29,5	11,8	29,5	11,7	29,2	11,6
16	29,9	11,8	29,6	11,9	29,9	11,8	29,6	11,8	29,7	11,6	29,2	11,6
23	29,5	11,9	29,7	11,9	29,9	11,8	29,6	11,7	29,7	11,7	29,3	11,6
27	29,5	11,8	29,6	11,8	29,8	11,8	29,7	11,8	29,3	11,7	29	11,5

PAN	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30,1	12										
1	30,1	12	29,9	11,6	29,9	11,5	29,9	11,9	29,8	12,1	29,8	11,8
2	30	12	29,9	11,5	29,9	11,9	29,7	11,8	29,5	11,9	29,5	11,6
3	29,7	12	29,8	11,6	29,9	11,9	29,8	11,8	29,6	11,9	29,6	11,6
4	29,9	12	30	11,9	29,9	11,8	29,7	11,8	29,6	12	29,5	11,6
5	29,7	12	30	11,9	29,8	11,9	29,8	11,8	29,4	11,9	29,4	11,6
6	29,7	12	30	11,7	29,8	11,8	29,8	11,8	29,5	11,8	29,5	11,7
8	29,9	12	29,9	11,9	29,8	11,8	29,8	11,8	29,6	11,8	29,5	11,6
16	29,9	12	29,8	12	29,6	11,8	29,8	11,8	29,4	11,8	29,3	11,6
23	29,9	12	29,9	12	29,6	11,9	29,7	11,8	29,5	11,9	29,4	11,5
27	29,9	12	29,8	12	29,6	11,9	29,5	11,8	29,1	11,8	29	11,5

LEN	Osnova, útek [cm]											
	80 [°C]		90 [°C]		100 [°C]		110 [°C]		120 [°C]		130 [°C]	
počet dní	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek	osnova	útek
0	30	12,3										
1	30	12,2	30	12,2	30	12,1	30	12,2	30	12,1	30	12
2	30	12,2	30	12,1	30	12,1	30	12,1	30	12	30	12
3	30	12,1	30	12,1	29,9	12	29,9	12,1	30	12	29,9	12
4	30	12,1	30	11,9	30	12	30	12,1	30	12	30	12
5	30	12,1	30	11,9	29,9	12,1	30	12,1	29,9	12	30	12
6	30	12,1	30	12	29,9	12	29,9	12	29,9	12	29,9	12
8	30	12,2	30	12	30	12,1	29,8	12,1	29,8	12	29,9	12
16	30	12	30	12,1	30	12	29,8	12,1	29,9	12	29,9	12
23	30	12	29,9	12	30	12	29,8	12,1	29,9	12	29,7	11,9
27	29,9	12	29,9	12	30	12	29,9	12	29,9	12	29,6	11,9

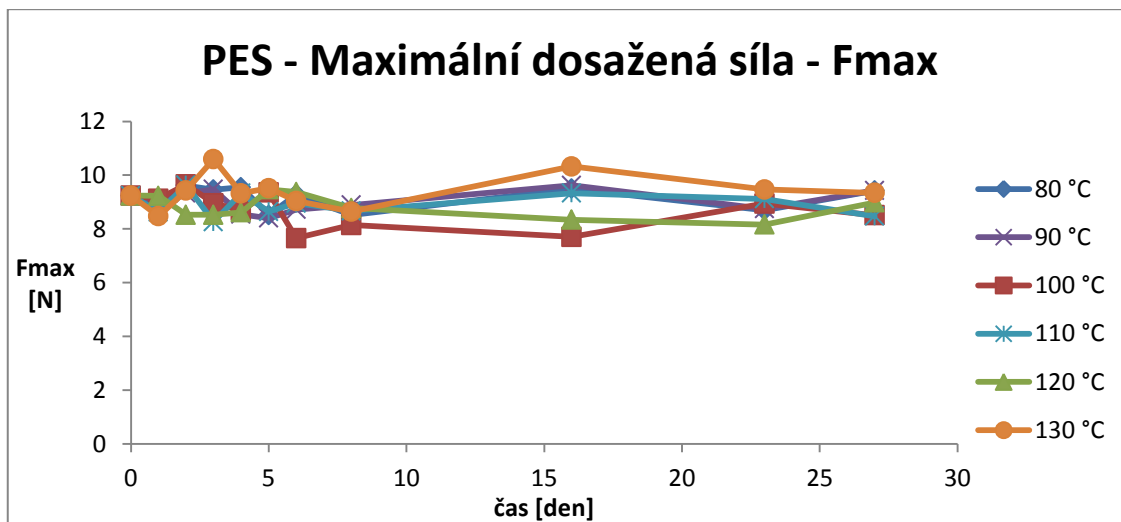
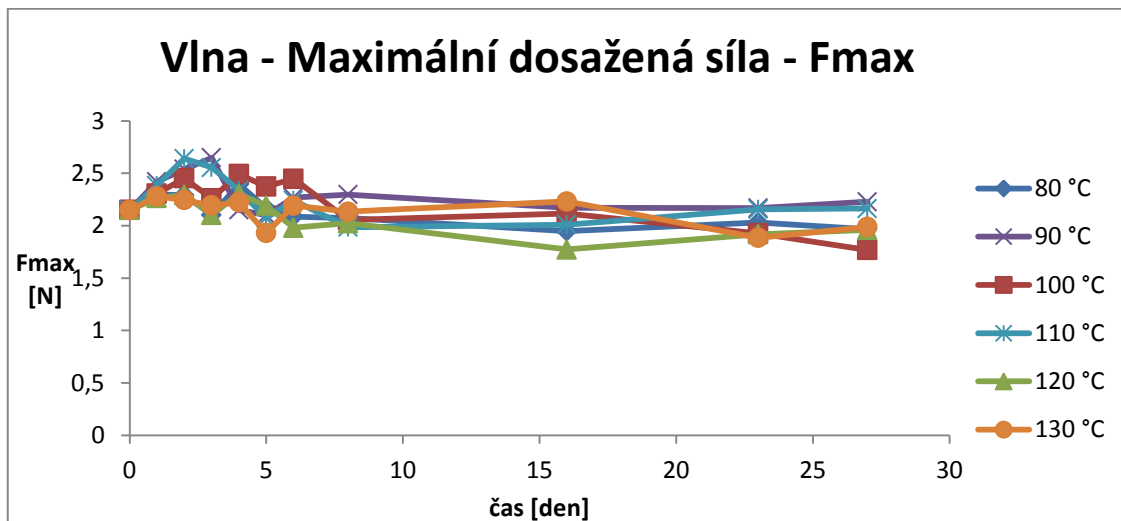
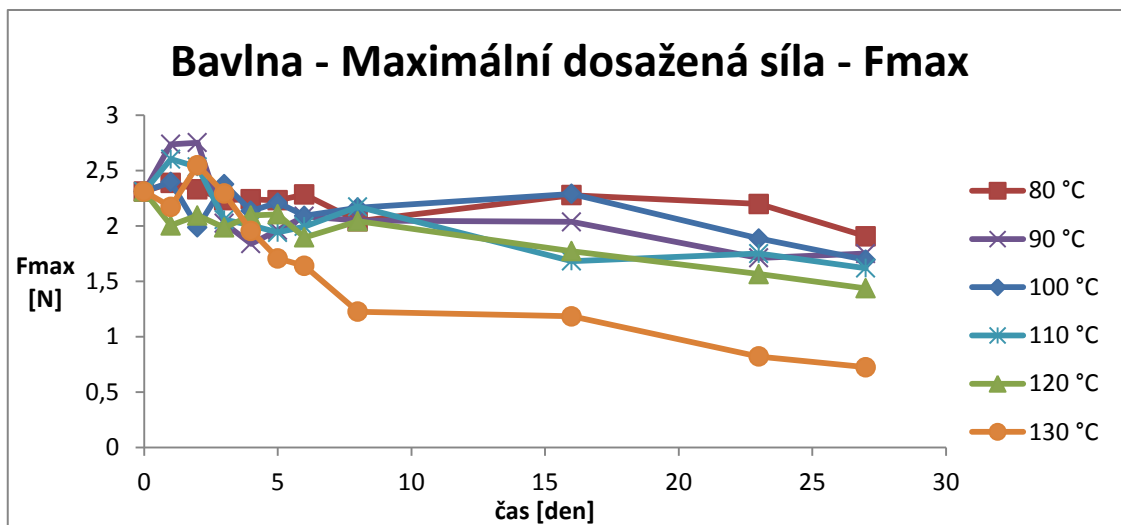
Příloha č. 4: Přehled vybraných valenčních vibrací a přehled významných charakteristických deformačních vibrací

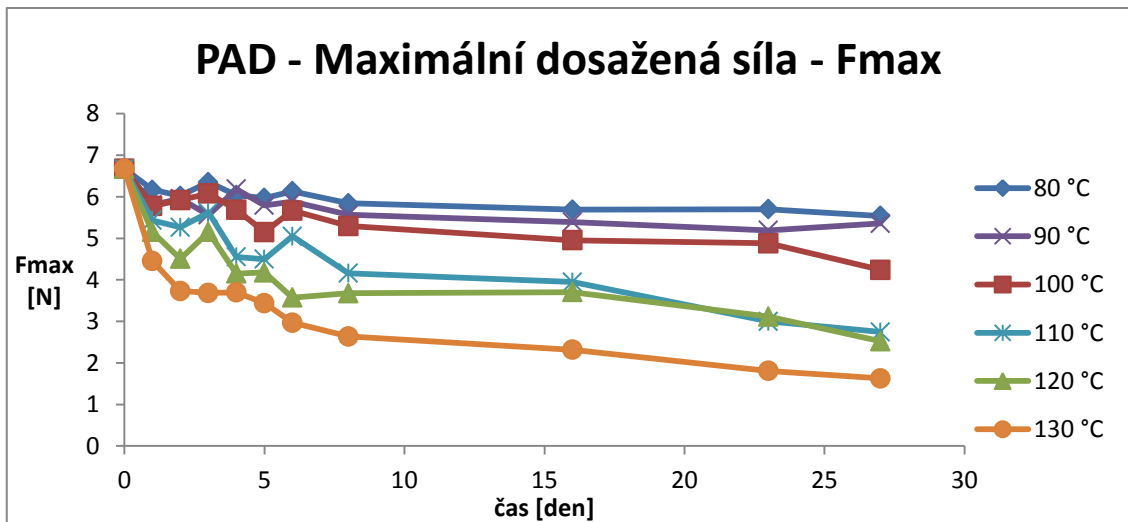
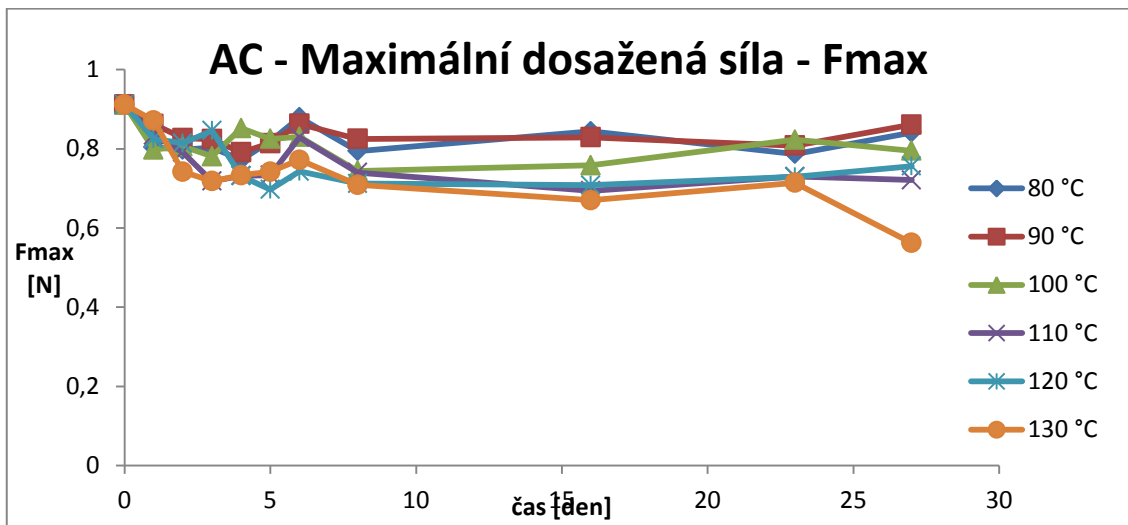
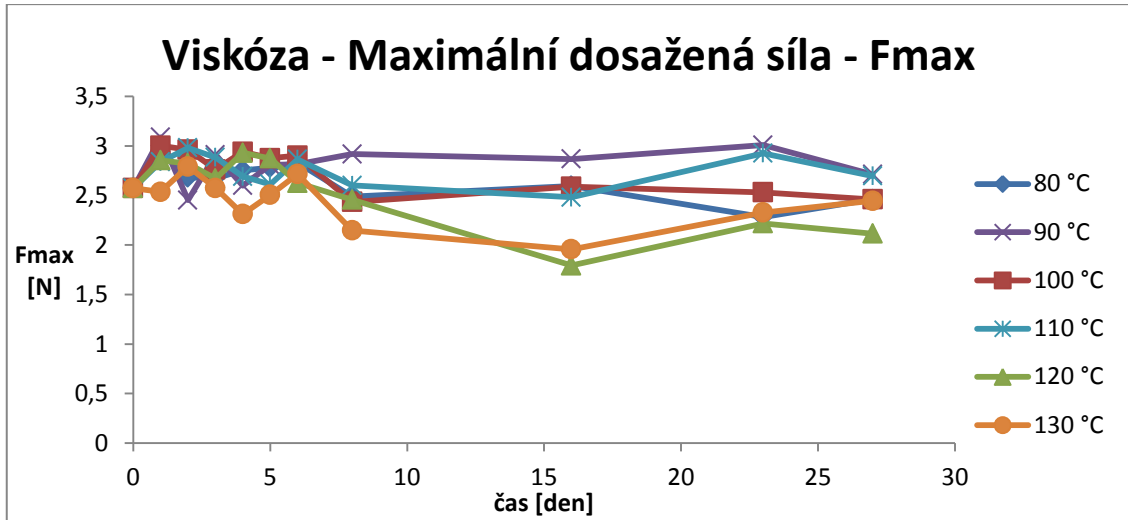
Absorbující vazba	Přibližný vlnčet (cm ⁻¹)	Intenzita píku a vzhled
O-H volná	3600	Střední
O-H (alkoholy, fenoly), vázaná intermolek. H-mostem	3500 – 3100	Silná, široký pás
O-H (alkoholy, fenoly), vázaná intramolek. H-mostem	3400 – 2500	Silná
N-H (aminy primární)	3500 – 3000	Střední, zdvojený pás
N-H (aminy sekundární)	3500 – 3000	Střední
N-H (amidy primární)	3500 – 3300	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
C=O (anhydridy)	1850 – 1800 a 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 a 1550 – 1500	Silné
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 a 1350	Silná
C-O (alkoholy, ethery, estery)	1300 – 1100	Silná
C-F	1400 – 1000	Střední
C-Cl	800 – 600	Střední
C-Br	600 – 500	Střední
C-I	500 – 400	Střední

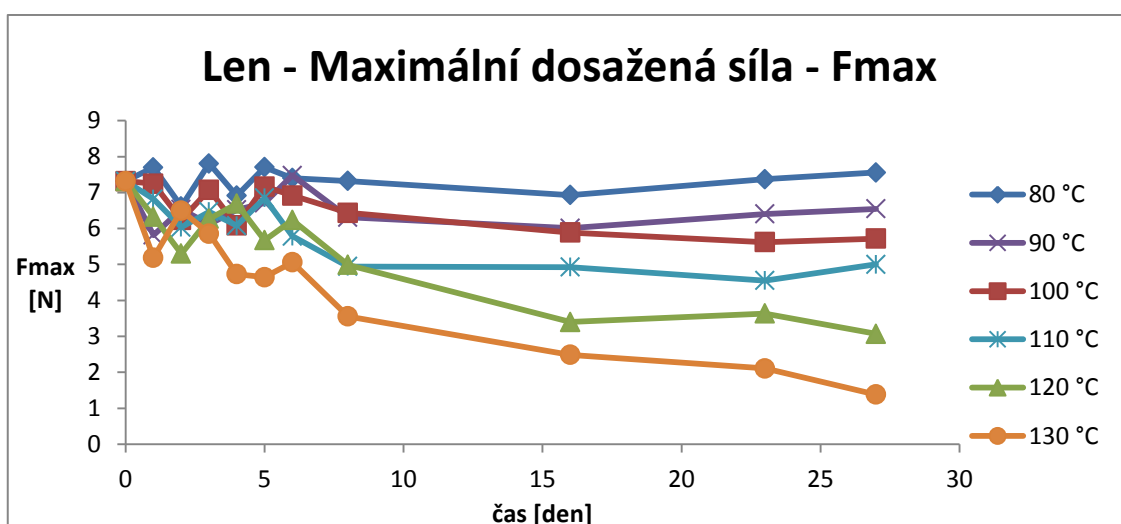
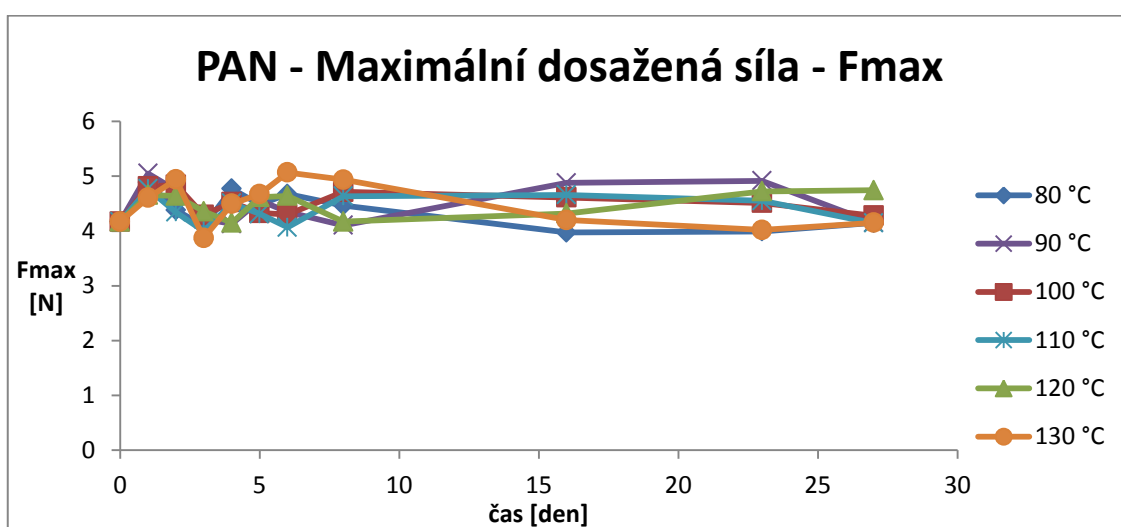
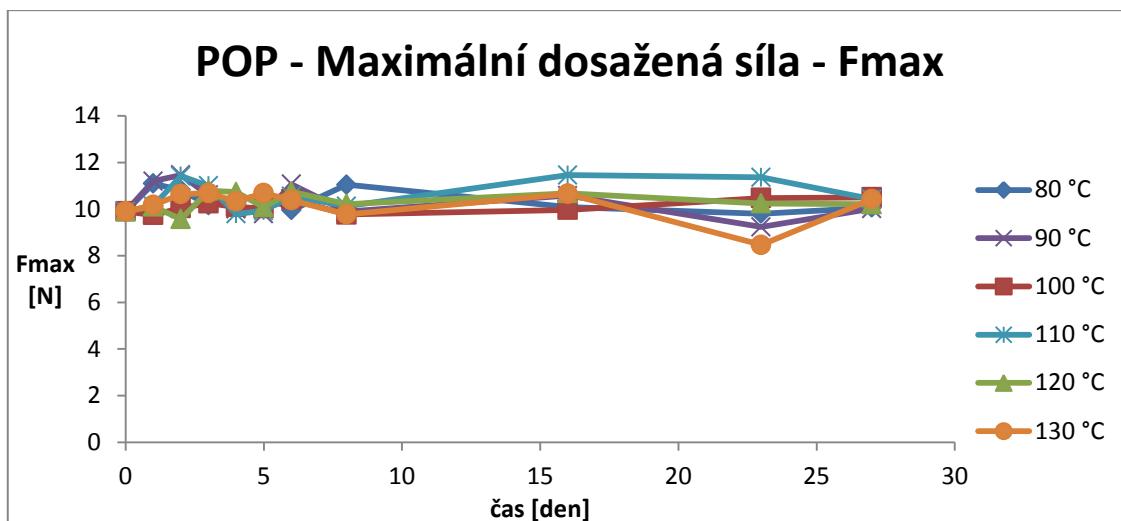
Přehled významných charakteristických deformačních vibrací

Absorbující vazba	Přibližný vlnčet (cm ⁻¹)	Typ vibrace (rovinná δ , mimorovinná γ)	Intenzita signálu
N-H (prim. aminy)	1650 – 1590	δ	Střední až silná
N-H (sek. aminy)	1580 – 1480	δ	Slabá
C-H (alkany)	1470 – 1460	δ	Střední
CH ₃	1370 – 1360	δ	Silná
CH ₂ (konc. alkeny)	1360	δ	Slabá
C-H (alkany)	790 – 700	γ	Silná
C=C (alkeny)	890 – 990	γ	Silná
C-H arom.	850 – 730	γ	Silná

Příloha č. 5: Maximální dosažená síla u všech materiálů při všech časech a teplotách







Příloha č. 6: Tažnost při maximální dosažené síle materiálů při všech časech a teplotách

