



Využití lýkových vláken pro výrobu kompozitních materiálů

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Jan Kabát

Vedoucí práce:

Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství





Zadání bakalářské práce

Využití lýkových vláken pro výrobu kompozitních materiálů

Jméno a příjmení: **Jan Kabát**
Osobní číslo: T18000089
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávající katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši na téma: lýková vlákna (zaměřte se na len a konopí); kompozitní materiály a možnosti využití přírodních vláken při výrobě kompozitních materiálů.
2. Zmapujte vlastnosti použitých vláken lnu a konopí. Z vybraných vláken vyrobte kompozitní materiál a ten vhodně otestujte. Změřte a popište vlastnosti vyrobených kompozitních vzorků.
3. Naměřené hodnoty vlastností vyrobených kompozitních vzorků statisticky vyhodnoťte. Zhodnoťte možnosti praktického využití vámi vyrobených kompozitních materiálů.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. MOHANTY, Amar K., Manjusri MISRA a Lawrence T. DRZAL, ed. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005. ISBN 978-0-8493-1741-5
2. VÄISÄNEN, Taneli, Paolo BATELLO, Reijo LAPPALAINEN a Laura TOMPPU. Modification of hemp fibers (*Cannabis Sativa* L.) for composite applications. *Industrial Crops and Products* [online]. 2018, 111, 422–429 [vid. 2020-12-02]. ISSN 0926-6690

Vedoucí práce:

Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

1. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

28. května 2021

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. května 2021

Jan Kabát

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Miroslavě Pechočiakové, PhD za odborné vedení bakalářské práce. Velké děkuji patří celé Textilní a Strojní fakultě. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za přístup, duševní a materiální podporu po celou dobu studia, bez které by tato práce nemohla být realizována.

Technická univerzita v Liberci mi do života přinesla cenné zkušenosti, velmi si vážím, že mohu být její součástí.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá studiem vybraných lýkových vláken z hlediska, mechanických a fyzikálních vlastností. Jejich zpracováním a užitím nejen v textilním průmyslu. Dále bylo vysvětleno téma kompozitních materiálů. Za pomoci zmíněných vláken, kyseliny polymléčné a změkčovadla v experimentální části byly vyráběny fólie, na kterých probíhalo testování z hlediska mechanických a termických vlastností. Následně proběhlo vyhodnocení experimentální části a diskuse o vhodném použití vyrobených fólií.

Klíčová slova: kyselina polymléčná, lýková vlákna, biopolymery.

Abstract

This bachelor thesis deals with the study of selected human fibers in terms of mechanical, physical properties and impacts on fiber quality due to cultivation. Everyone processes and uses not only in the textile industry. Furthermore, the topic of composite materials was explained. Using the mentioned fibers, polymeric acid and plasticizer in the experimental part, films were produced, on which testing was performed in terms of mechanical and thermal properties. Subsequently, the experimental part was evaluated and a discussion on the appropriate use of the produced foils was discussed.

Keywords: polylactic acid, bast fibers, biopolymers.

1	Úvod	11
2	Teoretická část – Rostlinná vlákna.....	12
2.1	Obecné rozdělení lýkových vláken	12
2.1.1	Obsah celulózy lýkových vláken	13
2.2	Charakteristika lýkových vláken, elementární vlákna	13
2.3	Chemické složení rostlinných vláken, ekologie pěstování	14
2.3.1	Celulóza.....	15
2.3.1.1	Obsah celulózy ve vláknech	16
2.3.2	Hemicelulóza	16
2.3.3	Lignin	17
2.3.4	Pektin.....	17
2.4	Zpracování a získání lněných vláken	18
2.4.1	Kotonizace	18
2.4.1.1	Enzym, enzymatická kotonizace.....	19
2.4.2	Rosení.....	19
2.4.3	Máčení.....	19
2.4.4	Počesání (=vochlování)	20
2.5	Len (<i>Linum usitatissimum</i>).....	20
2.5.1	Základní kultivary lnu	20
2.5.2	Strukturní vlastnosti	21
2.5.3	Porovnání hmotnostních částí rostliny lnu	22
2.5.4	Pěstování lnu.....	22
2.5.5	Zpracování lnu v tírnách:.....	22
2.5.6	Lněné vlákno, stonek.....	23
2.5.7	Textilie s přidáním lněných vláken, použití lnu.....	23
2.5.8	Vlastnosti lněných vláken.....	24
2.5.8.1	Vzhledové a geometrické vlastnosti lněných vláken	24
2.6	Konopí (<i>Cannabis sativa</i>)	24
2.6.1	Konopí seté (<i>Cannabis sativa</i> , L.)	24
2.6.2	Konopné vlákno, stonek	25
2.6.3	Složení konopného vlákna.....	26
2.6.4	Vlastnosti konopných vláken.....	26
2.6.4.1	Vzhledové a geometrické vlastnosti konopných vláken	26
2.6.4.2	Koheze, adheze a hydrofilita konopného vlákna	26
2.6.4.3	Mechanické vlastnosti konopí	27

2.6.5	Použití konopí – produkty a výrobky	27
2.6.5.1	Konopný olej	27
2.6.5.2	Využití odpadu po lisování	27
2.7	Bavlna	28
2.7.1	Historie bavlny	28
2.7.2	Pěstování bavlny	29
2.7.3	Bavlna jako rostlina a typy bavlníku	30
2.7.4	Spotřeba vody	30
2.7.5	Vlastnosti bavlněných vláken	30
2.7.5.1	Vzhledové a geometrické vlastnosti bavlněných vláken	30
2.7.5.2	Mechanické vlastnosti bavlněných vláken	31
2.8	Biodegradabilní polymery	31
2.9	Kyselina polymléčná (PLA)	33
2.9.1	Vlastnosti kyseliny polymléčné	34
2.10	Kompozitní materiály	34
2.10.1	Definice kompozitních materiálů	34
2.10.2	Použití kompozitních materiálů	36
3	Praktická část	37
3.1	Seznam použitých materiálů	37
3.2	Seznam vyrobených fólií	37
3.3	Popis přípravy materiálu	38
3.3.1	Příprava vláken na obrazovou analýzu – měření řezů vláken	38
3.3.2	Předemletí vláken	41
3.3.3	Dokončovací mletí	45
3.4	Výroba kompozitní fólie pomocí kyseliny polymléčné, částic lnu a konopí. ..	47
3.4.1	Masterbuch výroba	48
3.4.2	Výroba fólie	49
3.5	Popis zkoušek na vláknech a vyrobených kompozitních fóliích	52
3.5.1	Měření průměrů konopných a lněných vláken – Lanametr.	52
3.5.2	Měření pevnosti vláken	53
3.5.3	Měření ohybové tuhosti	55
3.5.4	Měření tepelných vlastností materiálů na DSC	56
3.5.5	Měření tloušťky	57
3.5.6	Měření pevnosti kompozitních fólií	57
4	Výsledky a diskuze	59
4.1	Měření plochy řezů vláken – obrazová analýza	59

4.2	Měření průměrů vláken – lanametr	60
4.2.1	Zpřesnění výpočtu jemnosti vláken	60
4.3	Měření pevnosti vláken	62
4.4	Měření ohybové tuhosti, výpočet objemové hmotnosti	63
4.5	Výsledky DSC Analýzy	66
4.6	Měření pevnosti kompozitních fólií	70
4.6.1	Výpočet napětí	71
4.7	Měření velikosti částic – Horiba	72
5	Shrnutí a závěr.....	73
6	Literatura.....	75
	Přílohy.....	1
	Příloha č.1: Měření ploch řezů konopných vláken – obrazová analýza.	1
	Příloha č.2: Měření ploch řezů lněných vláken – obrazová analýza.	5
	Příloha č.3: Fotografie namletých částic lnu a konopí.	9
	Příloha č.4: Měření průměrů vláken – lanametr	15
	Příloha č.4.1: Zpřesnění jemnosti vláken – konopí.....	16
	Příloha č.4.2.1: Zpřesnění jemnosti vláken – len.....	19
	Příloha č.5: Měření ohybové tuhosti kompozitních fólií	23
	Příloha č.6: Měření pevnosti kompozitních fólií	27
	Příloha č.7: Měření velikosti částic	34

Seznam použitých zkratek a symbolů

ATBC	acetyltributylcitrát
DSC	diferenční snímací kalorimetrie
E_m	modul pružnosti [cN.tex-1]
F	síla [N]
M_o	ohybový moment [N/tex]
PLA	kyselina polymléčná
PP	polypropylen
s_ε	směrodatná odchylka tažnosti [%]
s_σ	směrodatná odchylka pevnosti [mN]
T	jemnost [tex]
T_c	teplota krystalizace [°C]
T_g	teplota skelného přechodu [°C]
T_m	teplota tání [°C]
T_t	teplota tečení [C]
ε_t	pružnost [-; %]
σ_{mp}	pevnost vlákna [N]
$\sigma_{s/p}$	pevnost matrice [N]
ΔH	změna entalpie [J]

1 Úvod

Dnešní doba je specifická pro své nadměrné používání výrobků a obalů z plastických hmot. Každému z nás denně projde rukami mnoho plastových výrobků, které jsou častokrát jednorázově použity a vyhozeny. Lidé si mnohdy neuvědomují závažný dopad jejich používání. Pro uživatele problém odpadu končí v momentě vhození plastových hmot do popelnic. Z hlediska ekologie v tento moment pro přírodu problém začíná, respektive přes třicet let již trvá a každým rokem je mnohačetně prohlubován. Uvádí se, že státy v Evropské unii vyprodukují průměrně kolem 80 milionů tun obalových materiálů (90 % jednorázové obaly), tedy více než třetinu veškerého vyprodukovaného odpadu. Přičemž k deseti milionům tun odpadu ročně končí v oceánech, které už v nynější době mají násobně větší rozlohu než součet rozlohy Česka, Německa a Francie.

Do procesu výroby plastových materiálů vstupuje řada komponent (barviva, plniva, plastifikační přísady,...), to je vytváří těžko recyklovatelné, v aktuální situaci je přibližně čtvrtina výrobků z plastů recyklována.

V souladu k výše uvedeným aspektům je věnována pozornost biodegradabilním složkám, které mohou být použity na výrobu kompozitních fólií a z těch následně vyráběn obalový materiál, který je plně přírodně rozložitelný.

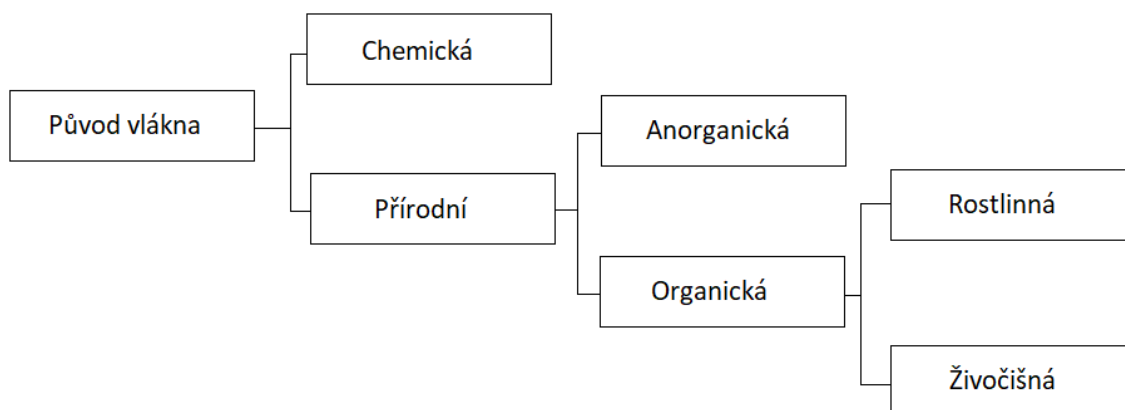
Na základě výše uvedených faktů se bakalářská práce věnuje popisu vybraných lýkových vláken konkrétně lnu, konopí a bavlny. Dále jsou popisovány kompozitní materiály a následná výroba kompozitních fólií s přidáním lýkových vláken, tedy částic konopí a lnu. Jsou vyhodnoceny mechanické i termické vlastnosti vyrobených fólií a navrženo případné použití.

2 Teoretická část – Rostlinná vlákna

Tato kapitola obsahuje všeobecné seznámení s problematikou rostlinných vláken.

2.1 Obecné rozdělení lýkových vláken

Rozdělení vláken podle původu vzniku.



Obrázek č.2.1.1: Schéma rozdělení vláken podle původu. [1]

Rostlinná část, odkud se vlákna získávají je u celulosových vláken rozdílná. Vlákná ze stonků (lýková) mají obecně nejlepší pevnost, zejména pak pevnost za mokra. Vlákná získávaná ze semen mají oproti vláknům ze stonků zpravidla lepší omak a jemnost. Získávání vlákna z konkrétního místa na rostlině můžeme vidět v Tabulce 2.1.1.

Tabulka č. 2.1.1: Rozdělení přírodních vláken. [1]

Přírodní vlákna						
Rostlinná			Živočišná		Anorganická	
Ze semen	Lýková	Z listů	Ze srsti	Ze sekretu		
Bavlna	Len	Sisal	Ovce	Hedvábi	Azbest	
Kapok	Konopí, Kopriva	Abaka	Lama	-	-	-
Kokos	Juta	Ananas	Velbloud	-	-	-

2.1.1 Obsah celulózy lýkových vláken

Z celulózových vláken je nejčastěji pěstovanou surovinou pro vlákno bavlník. Jakožto rostlina, která dokáže produkovat velmi jemná, kvalitní a hojně využívaná bavlněná vlákna. V Tabulce č. 2.1.2 znázorňuje produkci ostatních pěstovaných lýkových vláken v jednotkách milionů tun za rok.[2]

Tabulka č. 2.1.2: Produkce lýkových vláken [2]

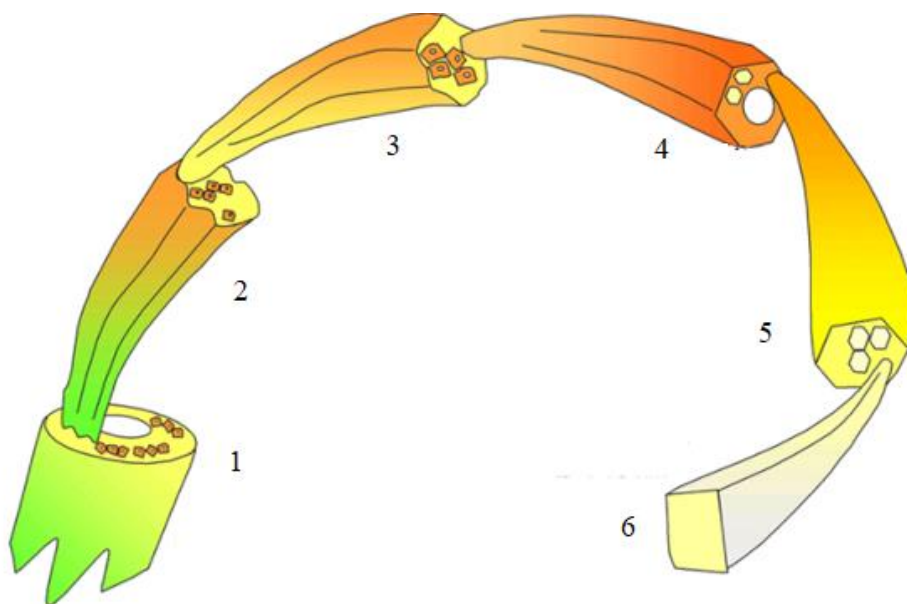
Vlákna	bavlna	juta	kokosová vlákna	len konopí	sisal	ostatní rostlinná vlákna
Produkce [mil. tun]	27,3	3,4	0,9	0,4	0,3	0,4

2.2 Charakteristika lýkových vláken, elementární vlákna

Rostlinná vlákna, která jsou získána ze stonků rostlin mají ve své struktuře svazky vláken (Obrázek č. 2.2.1). Tento jev je hlavním rozdílem v porovnávání získávání vláken z různých částí rostliny. Například bavlník produkuje bavlněná vlákna, která jsou jednobuněčná – nejsou dále dělitelná.

Pod pokožkou stonku lýkové rostliny jsou vlákna součástí lýka a kambium (= rostlinné pletivo) odděluje dřevinné části od lýka s vlákny. Vlákna jsou mezi sebou samým, dalším vláknem a lýkem pojena pektiny. Pro získání technických vláken ze stonku rostliny je nutno oddělit dřevinnou část rostliny od lýkové části rostliny a následné odstranění pojiv - pektinů (1. a 2. způsob). Nejčastější způsob získání elementárních vláken je pomocí 3. a 4. způsobu separace vláken ze stonku.[4]

- 1. Rosení – rozkladným elementem pojiv (pektinů) jsou bakterie a plísně
- 2. Máčení – stejný princip jako u rosení
- 3. Kotonizace – mechanická, chemická
- 4. Jiné chemické cesty



1 – rostlinný stonek, 2- svazek vláken, 3- technická vlákna ($\phi 50 - 100 \text{ um}$), 4- elementární vlákna ($\phi 10 - 20 \text{ um}$), 5- fibrila ($\phi 0,1 - 0,5 \text{ um}$), 6- mikrofirbila ($\phi 4 - 10 \text{ nm}$).

Obrázek č. 2.2. 1 Rozložení vláken v rostlině [3]

2.3 Chemické složení rostlinných vláken, ekologie pěstování

Jak již bylo naznačeno v kapitole 2.2, rostlinná vlákna spojuje přírodní polymer zvaný celulóza, která má největší procentuální zastoupení z uvedených složek v rostlinných vláknech viz Tabulka č. 2.3.1. Rostlinná vlákna neobsahují pouze celulózu, ale také zastoupení hemicelulózy, ligninů, pektinů a podobných složek. Pokud hovoříme o biodegradabilitě, máme jistotu, že všechna rostlinná vlákna biodegradabilní jsou.

Z ekologického faktoru je biodegradabilita hlavním tématem nově vyráběných materiálů, avšak v případě pěstování rostlinných vláken můžeme polemizovat o správné ekologii. Při pěstování rostlin, které produkují rostlinná vlákna, se spotřebovává obrovské množství vody (například: v nynější době úplné vyschnutí Aralského jezera z důvodu zavlažování bavlny). Nejen spotřeba vody, ale i používání velkého množství zdraví škodlivých pesticidů se řadí k velkým negativům. [2]

Tabulka č. 2.3.1: Chemické procentuální složení rostlinných vláken [2]

Vlákno	Celulóza [%]	Hemicelulóza [%]	Lignin [%]	Pektin [%]	Vlhkost [%]	Vosky a tuky [%]
Len	71	18,6 - 20,6	2,2	2,3	8 - 12,5	1,7
Konopí	70 - 74	17,9 - 22,4	3,7 - 5,7	0,9	6,2 - 12	0,8
Juta	61 - 71,5	13,6 - 20,4	12,1 - 13	0,2	12,5 - 13,7	0,5
Sisal	66 - 78	10 - 14,5	10 - 14,5	10	10 - 22,1	2
Kopřiva	88	4	5,4	0,6	11,1 - 17	3,1
Bavlna	85 - 90	5,7	-	0-1	7,8 - 8,5	0,6

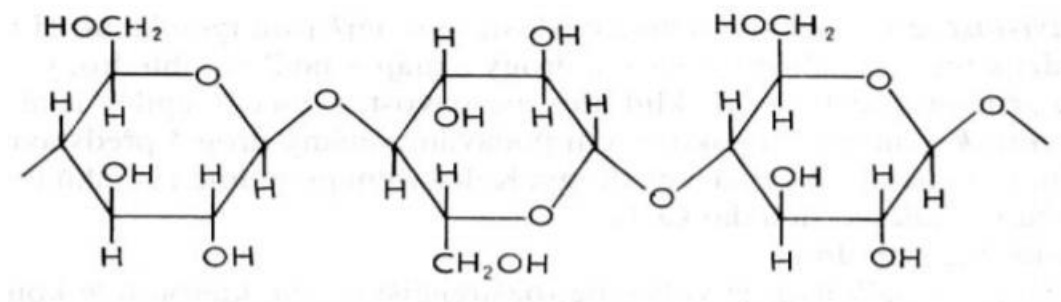
2.3.1 Celulóza

Jak již bylo zmíněno, všechna rostlinná vlákna obsahují bázi celulózy, proto můžeme celulózu považovat za hlavní stavební látku při tvorbě rostlinných buněčných stěn. Ta je v rostlině spojena s ligninem, hemicelulózou, pektiny, proteiny a tuky. Celulóza patří k světově nejrozšířenějšímu biopolymeru.[3]

Separaci celulózy ovlivňuje polymerační stupeň, celulóza není rozpustná ve vodě, tu pouze absorbuje.[3] Přírodní polysacharid nazývaný celulóza má základní stavební jednotku β – glukózu. Celulóza je charakteristická vysokým krystalickým podílem, který velmi slabě reaguje, obsažené vodíkové můstky v celulóze zabraňují tavení celulózy. Patří mezi látku, která je v největší míře obsažena v získaných vláknech, asi z 95 % všech látek rostlinné biomasy. Celulóza není odolná proti žádným kyselinám, zásadám ani většině rozpouštědel. Chemická struktura celulózy je uvedena na Obrázku č. 2.3.1.[2]

Elementární složení celulózy:

- 44,4 hm % uhlíku – C
- 6,2 hm % vodíku – H
- 49,4 hm % oxidu - O



Obrázek č. 2.3.1: Chemická struktura celulózy [6]

2.3.1.1 Obsah celulózy ve vláknech

Poměr celulózy u vláken lnu, konopí a bavlny je odlišný. Ačkoliv tyto typy patří do stejné čeledi, zásadním rozdílem u rostlin je část, ze které je vlákno získáváno. U konopí a lnu je vlákno získáváno ze stonku, zatímco u bavlny ze semene. To má vliv na celkové zastoupení celulózy v těchto vybraných vláknech. Procentuální zastoupení celulózy ve vybraných vláknech je uvedeno v Tabulce č. 2.3.1.1.1. Dle tabulky můžeme říci, že bavlna má jednoznačně největší hmotnostní podíl celulózy.

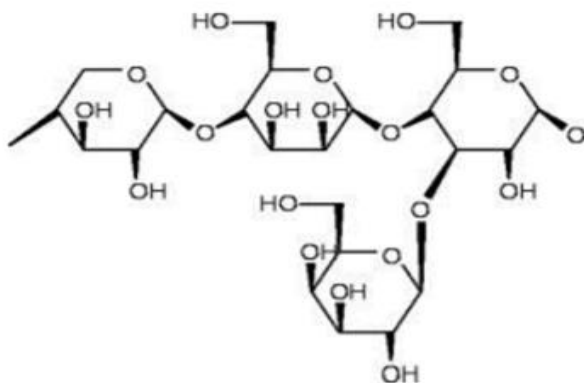
U ostatních typů lýkových vláken (len, konopí, juta, kenaf) je hmotnostní procento celulózy vždy menší. Důvodem může být i větší obsah ostatních látek, například hemicelulóza, pektiny, třísloviny a jiné látky.

Tabulka č. 2.3.1.1.1: Přehled obsahu celulózy u lýkových vláken

Typ vláken	Hmotnostní % celulózy ve vláknech
Len	71 hm %
Konopí	71 - 75 hm %
Bavlna	od 81 hm %

2.3.2 Hemicelulóza

Hemicelulóza je definována nižší relativní molekulovou hmotností, s menším krystalickým podílem než celulóza, která má méně rozvětvené polymerní řetězce. Jedná se o polysacharidy, které se skládají z pěti až šesti uhlíkatých cukrů (sacharidů) a cukerných kyselin. Základní stavební jednotkou jsou monosacharidy hexózy, pentózy i methylderiváty. Hemicelulózu lze rozložit ve zředěné alkálii. Hemicelulóza po chemické strukturní stránce je na Obrázku č. 2.3.2.1. [4]

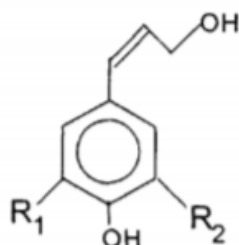


Obrázek č. 2.3.2.1: Hemicelulóza [8]

2.3.3 Lignin

Po celulóze je lignin druhým nejrozšířenějším biopolymerem na světě. Do českého překladu můžeme lignin překládat jako dřevo nebo dřevnatý. Jedná se o hydrofobní, aromatický biopolymer, který dodává rostlině stabilitu (=tuhost). Lignin patří do skupiny hydrofilních přírodních polymerů, tedy takový biopolymer, který umožňuje výhodných energetických interakcí s vodou.

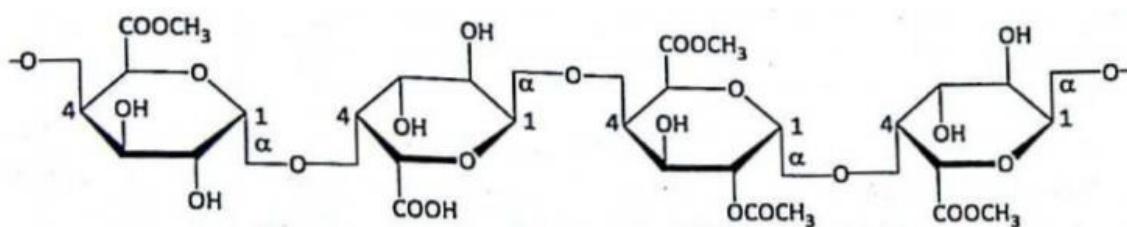
Je složen z jednotek viz Obrázek č. 2.3.3.1 z největší části p-hydroxyfenylemu. Jednotky, z kterých je lignin složen jsou ukládány v různém poměru a množství, což ovlivňuje i tuhost rostliny.[5]



Obrázek č. 2.3.3.1: Základní jednotka ligninu [7]

2.3.4 Pektin

Pektin patří do skupiny polysacharidů, které se nacházejí v pletivech rostliny. Jeho množství je snižováno během doby růstu. Pektin v rostlině zajišťuje výměny vody, minerálů a solí v ní obsažené. Pektin je schopen gelovatění. Jeho strukturu můžeme vidět na Obrázku č. 2.3.4.1.[3]



Obrázek č. 2.3.4.1: Chemická struktura pektinu [9]

2.4 Zpracování a získání lněných vláken

Lýková vlákna, tedy vlákna získávaná ze stonku, mají velmi podobající se strukturu, složení i samotnou konstrukci uložení vláken. Z každého rostlinného stonku, který je předurčen pro získávání textilních vláken se musí vždy v prvním kroku získat technické vlákno. Délka technického vlákna je závislá na výšce rostliny. Vlákno za technické je považováno, pokud jeho délka je pod 1 metr. K získání technických vláken v nejlepší možné jakosti jsou používány následující postupy. [8]

- Biologické postupy
- Fyzikální postupy
- Chemické postupy
- Mechanické postupy

2.4.1 Kotonizace

Proces kotonizace je používán za cílem rozkladu pojiv (pektinů) mezi jednotlivými vlákny. Tedy rozpad svazku lýkových vláken na elementární vlákna. Kotonizace je proces, který se skládá z máčení materiálu a následného mechanického zpracování.

Účelem kotonizace je přiblížení kotonizovaného materiálu bavlněným vláknům, z důvodu následného zpracovávání pomocí bavlnářské technologie. Dříve byla kotonizace prováděna louhy, avšak z dlouhodobého ekonomického, zejména ale ekologického aspektu se již tato metoda kotonizace nevyužívá. V současné době se v procesu kotonizace používá vodní pára za pomoci mechanického rozvolňování, případně ultrazvuku. [6]

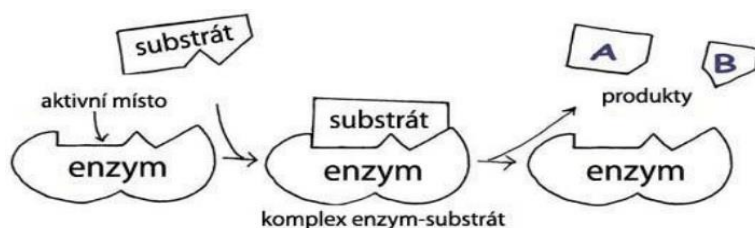
Rozlišujeme několik druhů kotonizace.

- Mechanická kotonizace – využití Crightnova čechradla
- Chemická kotonizace – využití teplých alkálií
- Parovodní kotonizace – využití tlaku a páry
- Biologická kotonizace – využití bakterií
- Enzymatická kotonizace – využití enzymů

2.4.1.1 Enzym, enzymatická kotonizace

Enzymy jsou látky, které koordinují chemické procesy v organismech. Jejich úkolem je zrychlení, nebo zdokonalení chemických procesů, které by nebyly za běžných fyziologických podmínek možné, případně by probíhali velmi omezeně.

Enzymatická kotonizace – principem enzymatické kotonizace je působení pektinázy, tedy enzymu, který je zodpovědný za rozklad soudržné vrstvy (pektinů) rostliny. Enzymy pektinázy vážou substrát za vzniku meziprojektu viz Obrázek č. 2.4.1.1.1. [14]



Obrázek č. 2.4.1.1.1: Molekuly enzymu vázající substrátu, tvorba meziprojektu [10]

2.4.2 Rosení

Při rosení se využívá rozkladných elementů, konkrétně bakterií a plísni. Sklizené stonky jsou rozmístěny na povrch (nejčastěji sklizeného pole). Úkolem mikroorganismů je rozložení lýkové části rostliny (v řádech týdnů) od dřevité části. Oddělené hrstě vláken jsou předkládány potěracím strojům, ty je mechanickou cestou čistí a předpřipravují na další fázi zpracování.

Proces rosení je specifickou předběžnou cestou pro zpracování, které není vhodné do všech klimatických podmínek. V prostředí s vysokou relativní vlhkostí vzduchu se stonky stávají přerosené, to vede ke zhoršené kvalitě finálních vláken, mnohdy k úplnému znehodnocení vláken. V prostředí s nízkou relativní vlhkostí musí být stonky častěji roseny z důvodu rychlejšího vysychání, to by vedlo k usmrcení mikroorganismů a celý proces rosení se zastavuje. [7]

2.4.3 Máčení

Patří k nejstarším biologickým technologickým postupům získávání technických svazků vláken. Máčení rozdělujeme na:

- Teplovodní máčení – aerobní, anaerobní
- Studenovodní máčení

2.4.4 Počesání (=vochlování)

Při procesu vochlování jsou používány pročesávací válce, které mají za úkol ojednotit dlouhá vlákna a odstranit všechny nežádoucí nečistoty. Oddělují se nekvalitní krátká, zacuchaná či nepevná vlákna, které povětšinou bývají zauzlená. Dochází ke zjemnění výsledných vlákenných svazků. [8]

2.5 Len (*Linum usitatissimum*)

Rostlina len byla zpracovávána pro textilní využití již v dávné historii. Tkaniny nalezené z dob Sumerské říše, starověkého Egypta jsou důkazem, že len byl žádanou surovinou pro výrobu textilií. Len je dostupný v několika podobách a modifikacích, každé lněné vlákno však vychází ze základních typů přadného lnu, kterých je doposud pěstováno sedm.

Len přadný je vhodný pro pěstování i v České republice, avšak jeho pěstování bylo takřka zastaveno díky malému odbytu. V nynější době se len pěstuje na území Holandska, Francie a Belgie. [9]

2.5.1 Základní kultivary lnu

Len setý se rozděluje na dva typy. Jedním z nich je len olejný, druhým typem je len přadný, který je významnější pro textilní použití. Mezi tyto dva typy řadíme, ale i přechodný typ – len olejnopřadný. [11]

Rostlina lnu přadného se vyznačuje dlouhým a tenkým stonkem, který často bývá velmi slabě rozvětvený s menšími tobočkami. Spodní část rostliny lnu přadného je charakteristická malým větvením, dochází zde k růstu dlouhého a jemného technického vlákna. Rostlina lnu je na Obrázku č. 2.5.1.1.

Rostlina lnu olejného má velmi krátké a hrubé stonky, vlákno získané z rostliny lnu olejného mnohdy nedosahuje požadovaných vlastností. Proto jeho pěstování není pro získání vláken běžné.

Rostlina lnu olejnopřádného představuje křížence obou typů lnu – lnu olejného a přádného, kříženec nese rysy z obou rostlin. Má delší vlákna než len olejný, proto jej lze dále textilně zpracovávat. [4]



Obrázek č. 2.5.1.1: Len setý – *Linum usitatissimum*

2.5.2 Strukturní vlastnosti

Rostlina lnu setého je složena z kořenového systému, který roste pod zemským povrchem. Kořenový systém tvoří hlavní kořen a velké množství jemných kořínků. Ten není již dále textilně zpracován, protože v něm nejsou obsažena žádná vlákna. Tvoří přibližně 5 - 10 hm % rostliny.

Z kořenového systému vyrůstá jeden stonek, který bývá dlouhý asi 60 – 120 cm, v menší míře je rozvětven. Většího rozvětvení se dostává až v poslední čtvrtině rostliny, kde se nachází i květy, které mohou mít bílou, růžovou, modrou až fialovomodrou barvu. Plod lnu tvoří tobolka se semeny. [8]

2.5.3 Porovnání hmotnostních částí rostliny lnu

- Kořen – 5-10 hm % rostliny
- Tobolky a semena – 5-10 hm % rostliny
- Stonek – 75-85 hm % rostliny, přičemž přibližně polovinu obsahují vlákna, zbytek tvoří pazdeří

2.5.4 Pěstování lnu

Pěstování lnu je obvyklé v mírném pásmu a zejména průmyslově. Vždy záleží na předplodině lnu, pokud je len sázen vícekrát než jednou za šest let, má to velký dopad na jakost výsledného vlákna. Hovoříme-li o takto pěstovaném lnu, musíme brát v úvahu, že vlákna získaná ze lnu sázeného vícekrát než jednou za šest let, nebudou v požadované kvalitě, jako vlákna, která jsou získána správným časovým odstupem, který je vhodný pro znovu výsadbu lnu. [14]

2.5.5 Zpracování lnu v tírnách:

- Trhání – drhnutím o sebe se stonky zbavují přebytečného listí
- Máčení nebo rosení – rozpuštění pektózy, ta spojuje vlákna s dřevnatými částmi stonku (= usnadnění oddělování jednotlivých vláken)
- Lámání a potěrání - odstranění zdřevnatělých částí stonku, semen, odstranění elementárních vláken (koudelky) od dlouhých vláken
- Počesání - urovnávání vláken do podélného směru, odstraňování nečistot, odstranění krátkých nespřadatelných vláken
- Spřádání
 - Za sucha vláken
 - Za mokra

Další zpracování a použití lněných vláken

- Semena – používáno ve farmaceutickém průmyslu, krmivo pro zvířata
- Stonek – zpracováván pouze za účelem získání vláken, při prvotním zpracování lnu se stonky oddělují jako první, odpadním produktem je pazdeří
- Vlákna – zpracování v přádelnách – zejména počesání (zjemnění vláken), dlouhá vlákna = len (příze lenky), krátká vlákna = koudel (příze koudelky)

2.5.6 Lněné vlákno, stonek

Jakost vláken je přímo úměrná jakosti stonku, kterou charakterizují proměnné jako je průměr, délka, tvar, rozvětvení atp.

Neopatrností při sklizení dochází k narušení svrchní vrstvy stonku, což je zárodkem dalšího znehodnocení stonku. V takovémto místě nastává rosení stonku a s tím je spojena následná zhoršená jakost vlákna. [10]

Složení stonku:

- Kůra – v kůrové části stonku se nachází technická vlákna, konkrétně ve vrstvě, která se nazývá sklerenchym. Nachází se zde mezi 20 – 30 svazky lněných vláken
- Dřevovina – mezi 50 – 60 hm % obsahuje tenkostěnné buňky, při technologii získávání vláken vzniká odpad - pazdeří, které je dále zpracováváno
- Dřeň – neboli buňky s velmi tenkou buněčnou stěnou, obsahující lumen

2.5.7 Textilie s přidáním lněných vláken, použití lnu

Vyrobené textilie s přidáním lněných vláken se vyznačují vysokou prodyšností, schopností sorpce vlhkosti (kapaliny), odolností proti zásaditým látkám, roztokům, na omak jsou textilie chladivé.

Jedná se o hypoalergenní textilie se zvýšenou odolností proti znečištění. Tyto textilie dobře odolávají znečištění prachem, kontaminaci roztoči, plísněmi či jinými bakteriemi. Textilie s použitím lněných vláken si velmi dobře drží tvar. Tuto vlastnost si dlouhodobě zachovává i při častém používání, namáhání a praní. Starší len bývá zpravidla měkčí, na omak příjemnější. Vyrobené textilie se vyznačují také vyšší mačkavostí, srážlivostí při praní, snadno se obarví od jiných materiálů.

Lněné vlákna jsou běžně směšována s bavlněnými, viskózovými, polyesterovými a vlněnými vlákny. [12]

2.5.8 Vlastnosti lněných vláken

Lněná vlákna bývají přibližně o 30 % pevnější než vlákna bavlněná, teorie uvádí zvýšení pevnosti o 30 – 60 % za mokra. Vlákna mají vysokou odolnost v oděru, ale velmi malou tažnost. Vlivem UV světla degraduje a ztrácí svou pevnost. Hustota- $\rho = 1440 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$. Mají chladivý omak, vysokou sorpci kapaliny. [9]

2.5.8.1 Vzhledové a geometrické vlastnosti lněných vláken

Lněné vlákna mají mnohoúhelníkový profil s povětšinou ostrými hranami, obsahují kolénka ve tvaru písmene. Vlákně lnu odpovídá až šestibokému hranolu a jeho oba konce jsou zakončeny špičkou.

2.6 Konopí (Cannabis sativa)

Konopí, rostlina, kterou si vryly do paměti lidé již před tisíci lety, kde ji měli zažitou jako rostlinu s velmi širokým záběrem užití. Bylo používáno na výrobu pevných lan, pletených sítí, těsnícího materiálu a podobných textilních produktů. Konopí také nacházelo využití, jako zdroj paliva, nebo k výrobě papíru.

Z chemických rozborů konopí byla zjištěna psychotropní látka zvaná Tetrahydrokanabidol (THC), což vedlo k zakázání volného pěstování a používání konopí. V nynějších dobách je konopí pěstováno s velmi malou přítomností psychotropní látky THC, tedy technické konopí. Přesto mají lidé rostlinu spojenou s drogami. V dávných letech bylo konopí registrováno jako užitečná surovina, dnes je ve světě syntetických či polosyntetických polymerních materiálů opomenutou surovinou.[15]

2.6.1 Konopí seté (Cannabis sativa, L.)

Konopí seté je pěstováno v oblastech subtropů, tropů a mírného pásu za nutnosti působení vyšších teplot. Konopí je velmi dobrou předplodinou. Při svém růstu, dokáže z půdy obsahující těžké kovy a jiné lidskému tělu nebezpečné látky odloučit, a zužítkovat ve svůj prospěch.

Delším působením chladnějších teplot pod 10 °C květy a listy modrají, až fialovějí, později odpadávají. Pokud je rostlina pěstována za účelem květenství nebo listů vystavena této teplotě, rostlina je znehodnocena. V případě pěstování rostliny na vlákno či jiné využití rozvětvené stonkové části, tento jev nevadí, rostlina při něm totiž nehyne. Pole s konopím setým je uvedeno na Obrázku č. 2.6.1.1.



Obrázek č. 2.6.1.1: Farma konopí setého [13]

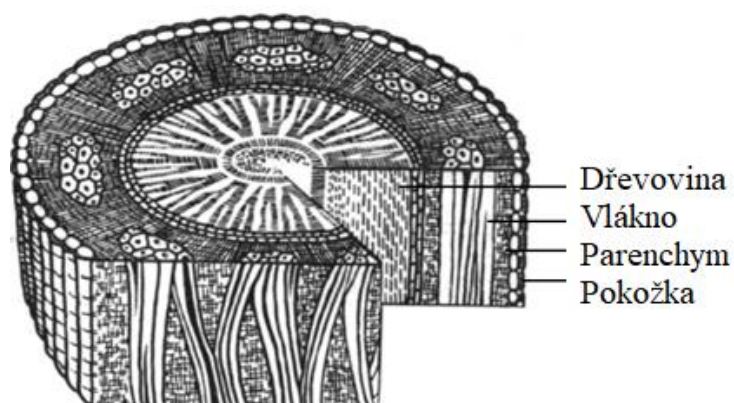
2.6.2 Konopné vlákno, stonek

Stonek, ze kterého jsou získávána vlákna, může dosahovat výšky od 2 do 4 metrů. V ideálních podmínkách až 6-ti metrů. Obecně platí, čím vyšší stonek, tím zhoršená jakost vlákna.

Stonek je vyvíjen pomalu, nejprve bývá měkký, ohebný, dužnatý. Postupem času stonek směrem ke své špičce dřevnatí a křehne. Obsah vlákna ve stonku se pohybuje mezi 13,5 – 19,5 %. [14]

Stonek konopí je dutý a ve své struktuře vytváří nepravidelně rozmístěné svazky vláken viz Obrázek č. 2.6.5.1.

Průřez stonkem konopí



Obrázek č. 2.6.2.1.: Znáznornění složek v konopném stonku za použití průřezu stonku[14]

2.6.3 Složení konopného vlákna

Tabulka č. 2.6.3.1: Procentuální vyjádření složení konopného vlákna [4]

Složka vlákna	Vyjádření hmotnostního % zastoupení složky ve vlákně
Celulóza	64 – 86 hm %
Hemicelulóza, pektin	3 – 11 hm %
Pektin	3 – 11 hm %
Lignin	2 – 12 hm %
Vosky, tuky	2 – 5 hm %
Popeloviny	1- 4 hm %
Kapalina	0 – 15 hm %

2.6.4 Vlastnosti konopných vláken

2.6.4.1 Vzhledové a geometrické vlastnosti konopných vláken

Konopná vlákna jsou mnohobuněčná, vzhled je velmi podobný jako u lněných vláken, avšak konopná vlákna nemají mnohoúhelníkový řez jako lněná vlákna. Jsou hrubší než vlákna lněná.

Mají vřetenovitý tvar vlákna s velkým lumenem a tupými konci. Průřez vlákna u mladé rostliny je téměř kulatý, později má mnohoúhelníkový tvar. Technická vlákna se pohybují v rozmezí jednoho až dvou metrů, elementární konopná vlákna jsou mezi čtyřmi až pětadesáti milimetry.[16] Konopné vlákno má obvykle smetanovou barvu.

2.6.4.2 Koheze, adheze a hydrofilita konopného vlákna

Vlákna konopí jsou za běžných podmínek obtížně barvitelná. Absorbují kapaliny, přičemž zůstávají vzdušné. Jsou odolné proti bakteriím, záření UV, plísním, kapalinám. Při praní se odstraňuje z povrchu vlákna mikroskopická vrstva, tento jev způsobuje vláknu lepší omak, lesk a jemnost, bez degradace.

2.6.4.3 Mechanické vlastnosti konopí

Vlákno konopí – houževnaté, pružné, po krátkodobém stisknutí se vrací do původního tvaru, dlouhodobě si drží tvar, vysoká pevnost – vyšší za mokra, malá tažnost, na slunci vlivem UV záření dochází k ztrátě pevnost. [16]

2.6.5 Použití konopí – produkty a výrobky

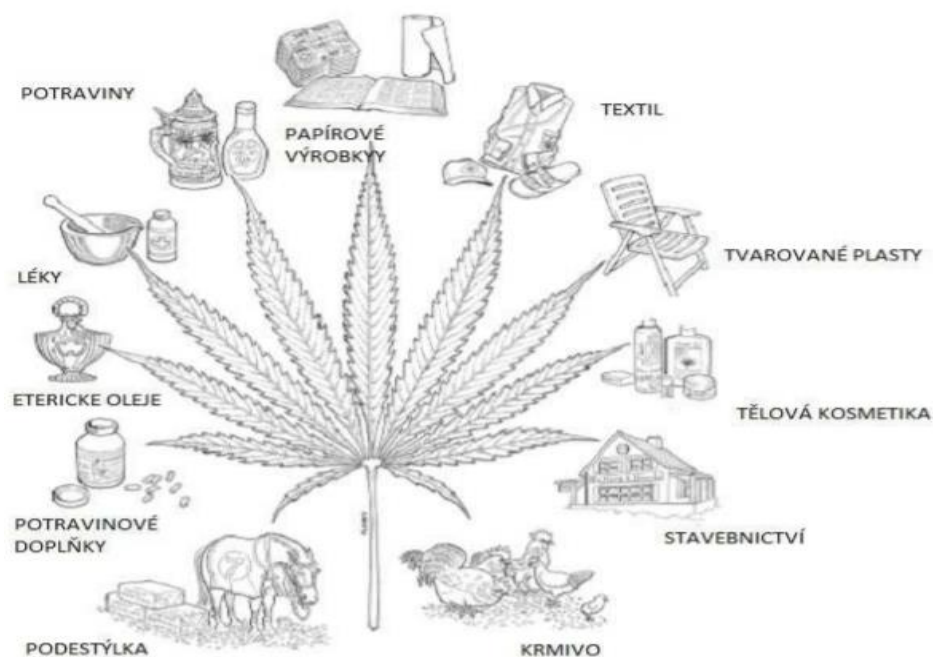
2.6.5.1 Konopný olej

Samčí rostliny jsou pěstovány za účelem získání vlákna a semen. Semena jsou lisována, následně je získáván olej, ve kterém jsou ve vysoké míře obsaženy kanabidioly, esenciální kyseliny, vitamíny a minerály. Tyto látky jsou používány například na léčení zánětů, kožních ekzémů či při problémech s udržení funkce správného imunitního systému. Semena konopí jsou využívána zejména pro výrobu oleje, který je ze semen lisován. Tento olej má využití hlavně pro potravinářský a farmaceutický průmysl. Jedná se o olej, který patří k co možná kvalitou nejlepším olejům. Obsahuje velké procentuální zastoupení (až 90 hm %) nenasycených mastných kyselin.[17]

Olej ze semen taktéž obsahuje značnou část látky CBD (cannabidiol), jedná se o nepsychoaktivní kanabinoid, Tato látka je používána nejen na léčení zánětů, kožních ekzémů či při problémech s udržení funkce správného imunitního systému.[17]

2.6.5.2 Využití odpadu po lisování

Po procesu lisování zbývá na jedné straně olej a na druhé straně pokrutiny. Tedy biomasa, která stále obsahuje kolem 15 hm % oleje. Tato biomasa je zpracovávána na výrobu biopaliv. Díky obsaženému oleji v této biomase je zajištěna vysoká výhřevnost.



Obrázek č.2.6.5.3.1: Možnost využití rostliny konopí setého.[18]

2.7 Bavlna

2.7.1 Historie bavlny

Bavlna je považována za jednu z nejstarších a nejrozšířenějších textilních surovin. Původně pochází z Indie, později se ovšem rozšířila do Egypta, z kterého se šířila přes Babylon a Čínu nezastavitelně dál. V Evropě se však objevila až ve Středověku. Textilními závody byla nejvíce využívána v 18. a 19. století, kdy byl trend bavlny na vrcholu.

Koncem 20. století byl trend bavlny výrazně snížen, hlavním důvodem byl rozvoj chemických vláken. V těchto letech byla chemická vlákna upřednostňována před přírodními, případně se přírodní vlákna mísila s vlákny chemickými. V dnešní době je bavlna upřednostňována před vlákny chemickými.

Nejznámější producenti bavlníku jsou oblasti subtropických oblastí například Indie, nebo Číny. V těchto zemích probíhala četná šlechtění bavlny, zkoumána a šlechtěna byla zejména jemnost pěstovaných vláken.

Důvodem pěstování bavlny je textilní surovina, tedy chomáč vláken, který můžeme vidět na *Obrázku č. 2.7.1.1.*



Obrázek č. 2.7.1.1: *Bavlna* [19]

Bavlníku existuje spousta druhů, avšak všechny spojuje rys, nažloutlé až načervenalé květy a většinou jsou keřovitého vzrůstu. Různé odrůdy bavlníku produkují různá vlákna, která jsou používána v odlišných podmínkách.

2.7.2 Pěstování bavlny

Pěstování bavlny je obvyklé v oblastech tropů, subtropů až do nejteplejších částí mírného pásu.

Podmínky, ve kterých je bavlník pěstován, hrají značnou roli ve kvalitě získávaných vláken a výnosu. Musí být kladen důraz na vlhkost půdy, kterou bavlník vyžaduje. Při pěstování bavlníku jsou hojně využívány pesticidy, které kontaminují veškerou okolní půdu. Samotní pěstitelé přichází do přímého styku s jedovatými látkami a pesticidy, proto pěstování bavlny nese značné negativní prvky.

Bavlník je známý pro svou nutnost mít neustále vláhu. To je spojeno s velkou spotřebou vody, což nese značný nežádoucí jev při pěstování bavlny.

Nynější lídr v pěstování je například i ze subtropických oblastí Uzbekistán. [22]

2.7.3 Bavlina jako rostlina a typy bavlníku

Bavlník je keřovitá rostlina, jedná se o vytrvalou nebo víceletou rostlinu. Vysokou dle konkrétního druhu, přibližně však od 40 cm do 2 metrů. Tvoří svazčitý kořenovitý systém. Z hlavního stonku se rozrůstají větvičky nesoucí květenství – tobolek. Tobolka je nositelem vláknenné suroviny.

2.7.4 Spotřeba vody

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.7.2, bavlník je známý pro svou spotřebu velkého množství vody.

Při pěstování bavlníku v subtropických oblastech Uzbekistánu a Kazachstánu byl vykopán rozváděcí vodní kanál (60-tá léta 20. století) z Aralského jezera. [19]

Aralské jezero díky ne hospodárnému zacházení s vodou již vyschlo, to způsobuje nejen komplikace při pěstování bavlny, ale hlavně absenci vody do budoucích let, která nemusí být příznivá pro další život v těchto oblastech.[20]

2.7.5 Vlastnosti bavlněných vláken

2.7.5.1 Vzhledové a geometrické vlastnosti bavlněných vláken

Bavlník produkuje kratší vlákna, přibližně 10 – 60 mm dlouhá. Mají velmi příjemný omak, jsou hebká. Vlákna bavlny dobře sorbují kapaliny, jako každé lýkové vlákno tak i bavlna dobře hoří. Díky svým vlastnostem jsou vlákna používána zejména v oděvnickém průmyslu na výrobu oblečení, ale nejen zde. [25]

Bavlněné vlákno je charakteristické svou žlutobílou až bílou barvou. Vlákna jsou stužkovitého tvaru, v řezu fazolovitého průřezu. Bavlněná vlákna trvale nedrží svou deformaci, avšak mají velmi příjemný omak, jsou hebká.

Bavlněná vlákna můžeme mikroskopicky sledovat ve třech fázích, a to – nezralá, zralá a mrtvá vlákna. Zralé vlákno připomíná širokou zakroucenou stužku, obsahující malý lumen. Průřez připomíná ledvinku. Mrtvé vlákno nemá zakroucení. Zploštělý (stužkovitý) tvar se vláknu dostává kvůli sušení, kdy dojde ke zborcení stěny vlivem odstranění vlhkosti a vlákno se stáčí.

2.7.5.2 Mechanické vlastnosti bavlněných vláken

Vyšší pevnost za mokra, pevnost a vzhled bavlněných vláken se dá ovlivnit mercerací. Vysoká navlhavost vláken. Při dlouhodobém působení zvýšených teplot (nad 120 °C) dochází ke žloutnutí vláken.

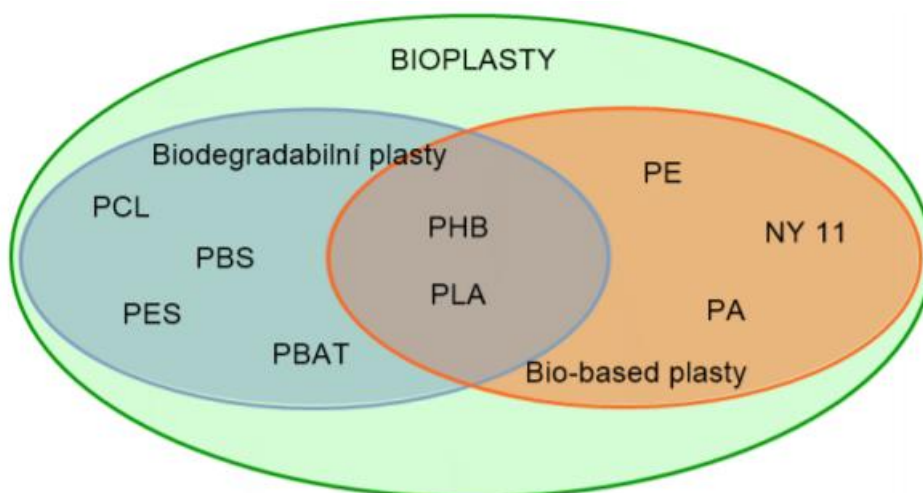
2.8 Biodegradabilní polymery

Biodegradabilní polymery jsou typy plastů vyráběné z rostlinných polysacharidů. Tedy cukrová třtina, řepa, tabák, konopí a mnoho dalších. Dělení biodegradabilních polymerů můžeme vidět na Obrázku č.2.8.1. Jejich vlastnosti častokrát dosahují stejných vzhledových i mechanických vlastností jako plasty z fosilních surovin. Základní látkou pro výrobu biodegradabilních plastů je škrob obsažený v uvedených rostlinách či plodech. [21]

Aby byl biodegradabilní polymer plnohodnotný, přidávají se do škrobu plastifikátory (sorbitol, glycerin). Přidané plastifikátory zásadně ovlivňují výsledné vlastnosti biopolymerů, zejména pomáhají k dosažení požadovaných vlastností. Na první místo výhod se řadí fakt, že biopolymerní plasty jsou plně přírodně rozložitelné, včetně plastifikátorů, což sebou přináší pozitivní ekologickou stopu. [21] [23]

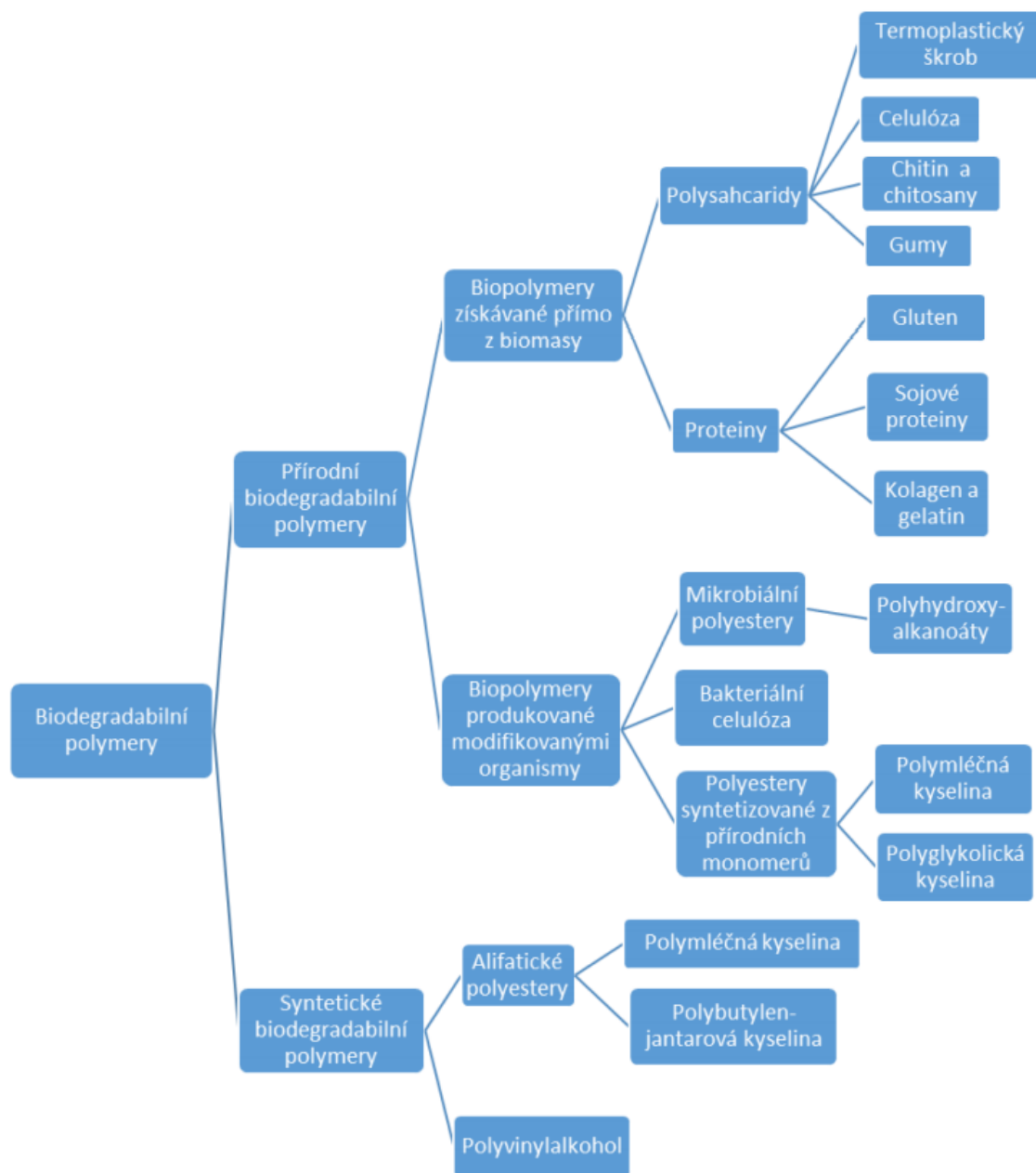
Rozdělení bioplastů na biodegradabilní plasty a plastů vyráběných z obnovitelných zdrojů (=BIO-BASED) můžeme vidět na Obrázku č. 2.8.1.

Znázornění bioplastů:



Obrázek č. 2.8.1: Rozdělení biodegradabilních a nebiodegradabilních plastů[24]

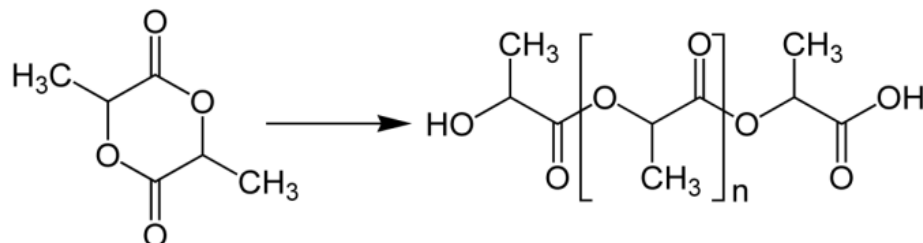
Biodegradabilní polymery – rozdělení



Obrázek č. 2.8.2: Rozdělení biodegradabilních polymerů podle původu[26]

2.9 Kyselina polymléčná (PLA)

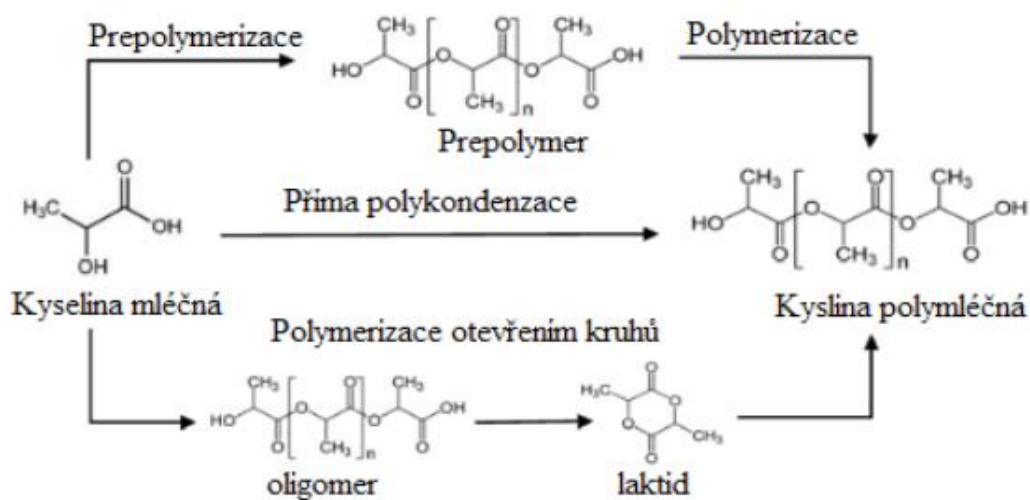
Kyselina polymléčná (dále PLA) je řazena k hydroxylovým kyselinám, je složena z jednotlivých monomerů kyseliny mléčné (α -hydroxypropionikyselina).



Obrázek č. 2.9.1: Strukturní vzorec PLA [27]

Drtivá většina existující kyseliny polymléčné byla vyrobena procesem fermentace [28]. V průmyslu je proces fermentace přírodních surovin veden přeměnou buněčných kultur a enzymů, které mají zajištěny ideální podmínky pro kultivaci, díky kterým mikroorganismy syntetizují látky [28]. Jedná se o nejčastěji používaný biopolymer.

PLA je nejčastěji syntetizováno polymerací otevřením kruhu laktidu nebo polykondenzací. Pokud hovoříme o polymerní syntéze, hovoříme o připojení monomeru do sítě nebo do řetězce [29].



Obrázek č. 2.9.2: Syntéza PLA z kyseliny mléčné[29]

2.9.1 Vlastnosti kyseliny polymléčné

PLA patří mezi látky se silnou hydrofilitou, vysokou křehkostí, UV odolností povrchovou energií a dobrou transparentností. Je velmi dobře barvitelná, odolává olejům, tukům, alkoholu. [28]

Není odolná vůči zásadám, kyselinám, rozpouštědlům, působení zvýšených teplot. Je biologicky rozložitelná, pouze ale při stálém působení zvýšených teplot. Zdravotně nezávadná. [28]

2.10 Kompozitní materiály

2.10.1 Definice kompozitních materiálů

Kompozitním materiálem je označována soustava, která se skládá ze dvou a více různých fází (= složek). Obsažené složky v kompozitním materiálu mají navzájem odlišné mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Kombinací těchto složek dokážeme získat materiál požadovaných vlastností. [30]

Složení kompozitního materiálu: [31]

- Spojitá fáze = matrice
- Jedna nebo více nespojitých fází = výztuž

Kompozity jsou děleny podle:

- Typu výztuže – jednovrstvá
 - Částicové – s náhodnou orientací, s řízenou orientací – jednovrstvá
 - Vláknové – dlouhovláknové, krátkovláknové – jednovrstvá

Charakteristika vláknové výztuže

Vlákna nabývají největších pevnostních hodnot, když jsou v kompaktní podobě, tedy jsou ojednoceny a mají co nejmenší průřez. K zajištění pevnosti konstrukce v určitém směru je zapotřebí vlákna správně orientovat. [32]

Použitá vlákna do kompozitních materiálů musí splňovat základní podmínky. [32]

1) Mez pevnosti vlákna musí být vyšší než mez pevnosti matrice.

$$\sigma_{fP} > \sigma_{mP} \quad (1)$$

σ_{fP} – pevnost vlákna, σ_{mP} - pevnost matrice

2) Modul pružnosti vlákna musí být vyšší než modul pružnosti matrice.

$$E_f > E_m \quad (2)$$

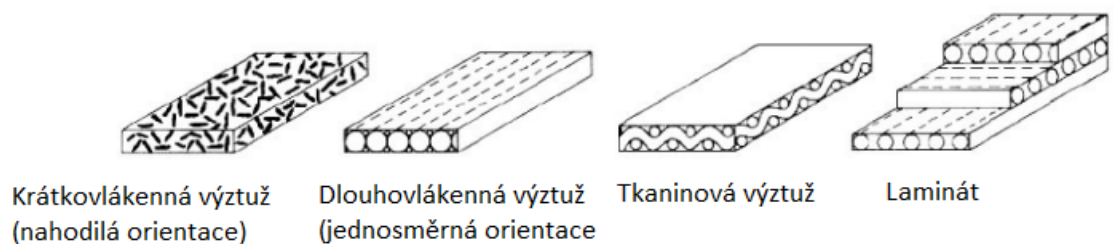
E_f - modul pružnosti vlákna, E_m – modul pružnosti matrice

Druhy vláknových výztuží – skleněná vlákna, aramidová, keramická, uhlíková, přírodní,...

Vláknové kompozity

- Typu výztuže – vícevrstvá
 - Lamináty – vrstvené vláknové kompozity – v každé vrstvě stejná matrice a výztuž
 - Hybridní lamináty – vrstvené vláknové kompozity – v každé vrstvě rozdílná matrice a výztuž

Typy vláknových výztuží.



Obrázek č. 2.10.1.1: Znázornění výztuží vláknových kompozitů[31]

- Druhu matrice – polymerní, anorganická, kovová, keramická

Hlavní úlohou matrice kompozitního materiálu je zajistit soudržnost materiálu v jednom celku a udržet přidané složky na místě. Matrice má určité chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti, které přímo ovlivňují vzniklý kompozitní materiál. Měla by být dobře zpracovatelná, mít dobrou adhezi k přidávaným složkám a být dobře odolná k okolnímu prostředí. [33]

- Geometrického charakteru vložené složky
 - Vláknové – dlouhá, krátká vlákna velmi podobných geometrických tvarů
 - Částicové – volba mezi pravidelnými a nepravidelnými tvary

Pro výrobu kompozitního materiálu je vždy volena výztuž v ohledu na adhezi k matrici a druhu použití následně vyrobeného kompozitního materiálu. Materiál pro výztuž kompozitu dosahuje lepších vlastností než matrice, zlepšuje tak vlastnosti vyrobeného kompozitního materiálu.

Kompozitní materiály nabízejí širokou škálu uplatnění, zejména pro jejich vysokou variabilitu, při výrobě dokážeme řídit výsledné fyzikální a mechanické vlastnosti. Výroba kompozitních materiálů dle požadovaných vlastností je zajištěna díky přizpůsobování druhu, orientaci a dispergaci výztuže v matrici. [30]

Synergický efekt – při kombinaci materiálů je nezbytně nutné získat takové vlastnosti, které jsou odlišné (lepší) než vlastnosti, které poskytuje součet vlastností dvou a více složek, nebo složek samostatných, z nichž je kompozitní materiál složen. Při navrhování kompozitního materiálu jsou hledány takové složky, aby byl synergický efekt co nejvyšší. [34]

2.10.2 Použití kompozitních materiálů

Automobily – nárazníky, světlá, interiér, ...

Letectví – křídla, trup, kola, vrtule, ...

Sport – hokejky, běžecká obuv, lyže, rámy kol, rybářské pruty, ...

Lékařství – náhrady kostí

3 Praktická část

Kompozitní biodegradabilní fólie se v nynější době již vyrábí, avšak problémem je stále delší doba přírodní degradace. Dle teoretické úvahy lýková vlákna nemohou kompozitním fóliím dodat větší pevnost, než některá již používaná změkčovadla. Avšak pointou výroby těchto fólií je fakt, že lýková vlákna zrychlí proces přírodní degradace.

3.1 Seznam použitých materiálů

- Konopná vlákna – plnivo kompozitní fólie
- Lněná vlákna - plnivo kompozitní fólie
- Kyselina polyléčná – PLA – základ matrice
- Acetyl tributyl citrát – ATBC – změkčovadlo
- Polypropylenový kelímek – pивní
- Polypropylenový kelímek – kávový

3.2 Seznam vyrobených fólií

- PLA
- PLA + 10 hm % ATBC
- PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí
- PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % len

3.3 Popis přípravy materiálu

3.3.1 Příprava vláken na obrazovou analýzu – měření řezů vláken

Pro ideální zobrazení řezů vláken musí být vlákna vhodně připravena. Příprava byla situována následujícím způsobem.

1. Svázání vláken. (Obrázek č. 3.3.3.1)
2. Lepení vláken do jednotlivého svazku – tato operace byla opakována třikrát, přičemž v prvních dvou krocích bylo použito zředěné lepidlo, z důvodu zatečení do svazku a spojení všech vláken. V třetím kroku lepidlo již nebylo ředěno. (Obrázek č. 3.3.3.2)
3. Umístění vlákenného svazku do přípravku (mikrotomu) pro sejmutí vrstvy příčného řezu svazku. (Obrázek č. 3.3.3.3)
4. Příprava preparátu a umístění sejmuté vrstvy příčného řezu pod obrazovou analýzu – mikroskop. (Obrázek č. 3.3.3.4)

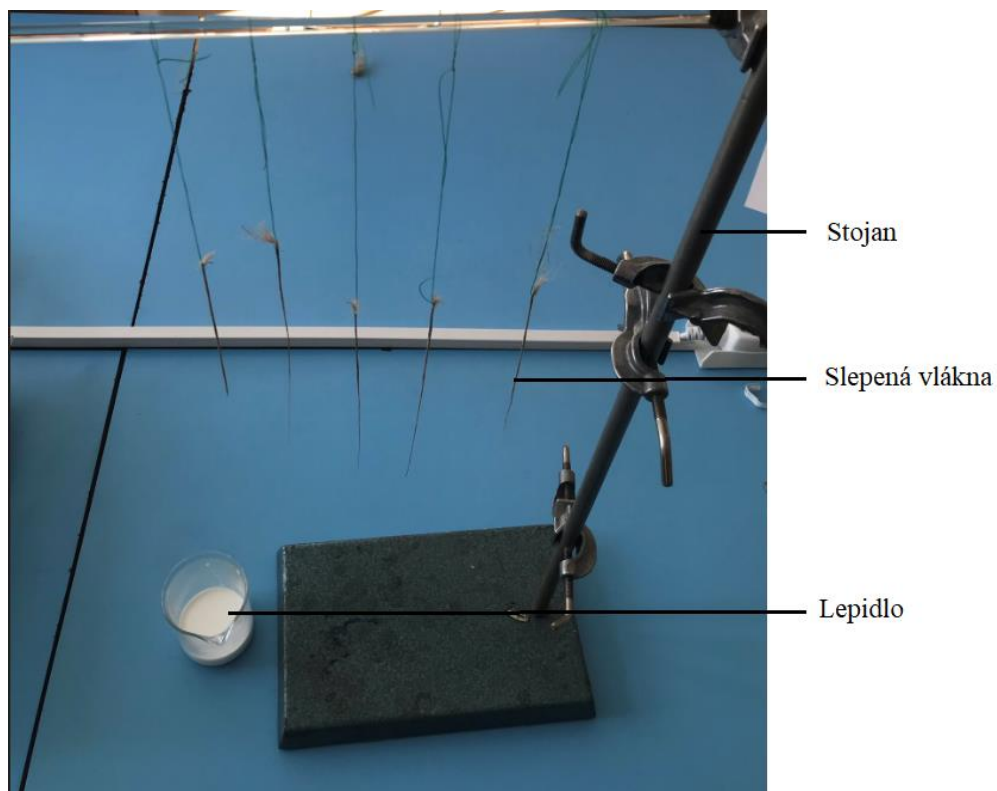
Celý postup můžeme sledovat na přiložené foto dokumentaci.

1. Svázání jednotlivých vláken.



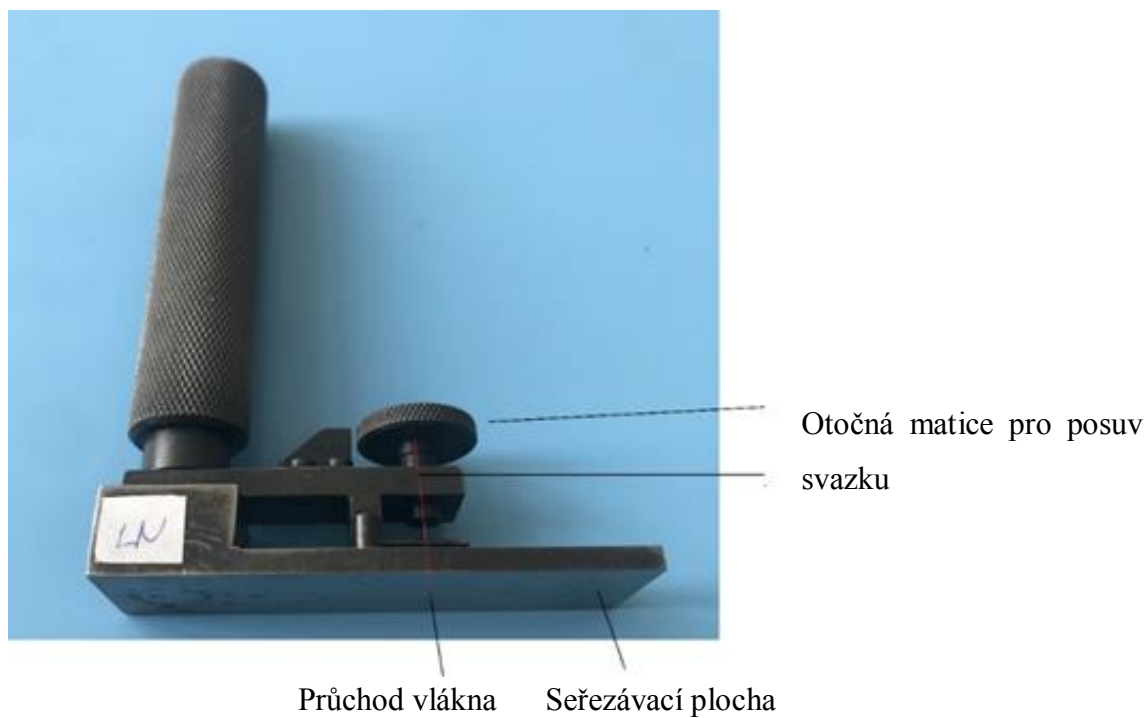
Obrázek č. 3.3.3.1: Příprava vláken pro sejmutí řezu

2. Lepení vláken do jednotlivého svazku



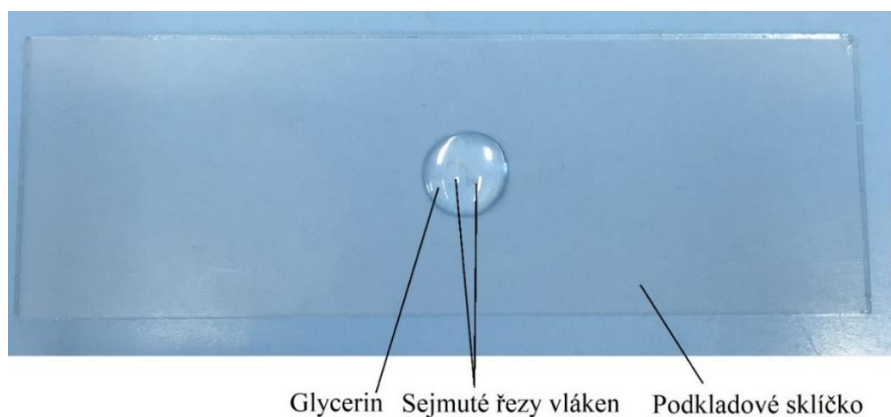
Obrázek č. 3.3.3.2: Příprava vláken pro seřazení řezu

3. Umístění svazku vláken do mikrotomu a seřazení příčného řezu..



Obrázek č. 3.3.3.3: Příprava vláken pro seřazení řezu

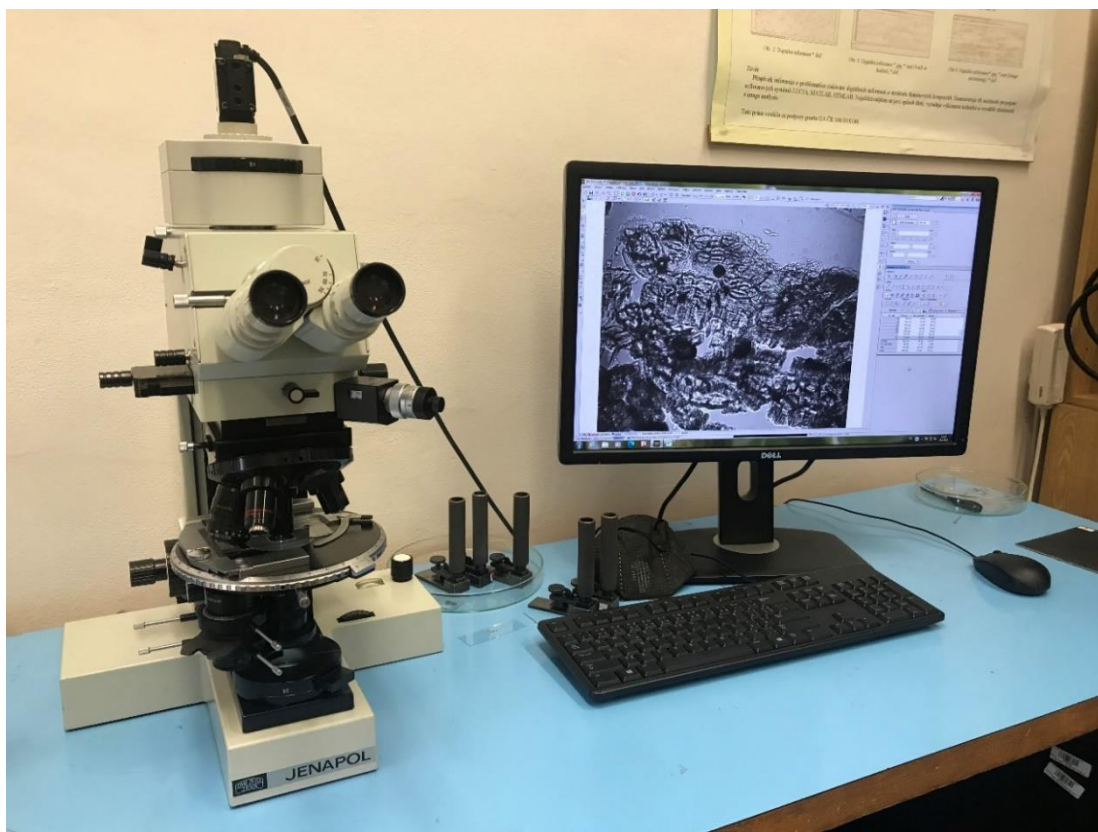
4. Vložení seříznutých příčných řezů na podložné sklíčko do glycerinu. Následné vložení do mikroskopu.



Obrázek č. 3.3.3.4: Příprava preparátu pod obrazovou analýzu

5. Měření požadovaných vlastností

Vložení preparátu pod mikroskop Jenapol od firmy Carl Zeiss Jena a použití programu Nis Elements Ar. Zvětšení preparátu 25x. Následné měření požadovaných vlastností.



Obrázek č. 3.3.3.5: Obrazová analýza

3.3.2 Předemletí vláken

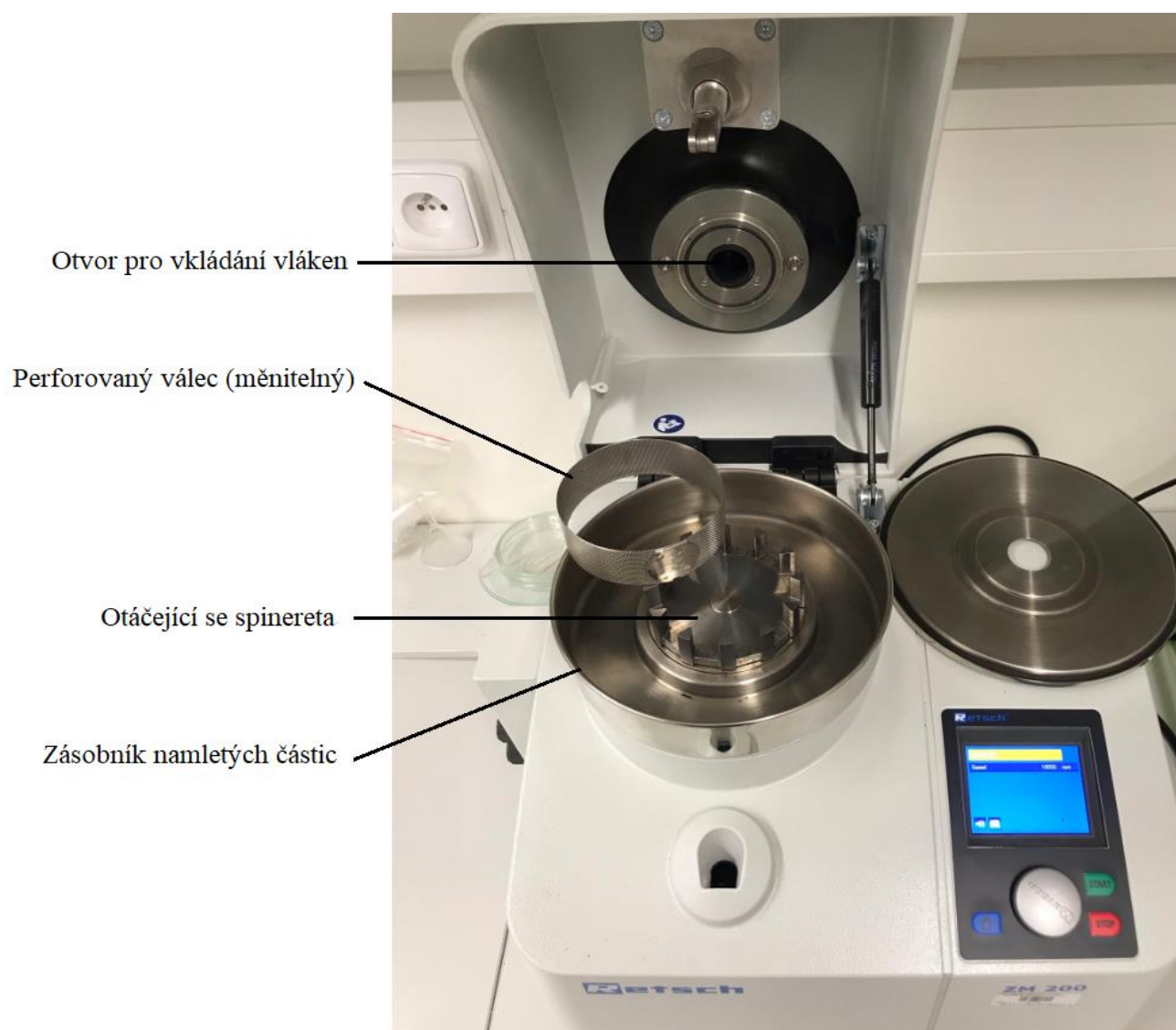
Pro výrobu kompozitních folií bylo zapotřebí zajistit namletí jednotlivých vláken na mikro částice až nano částice. Mletí probíhalo ve dvou krocích, prvním krokem bylo předemletí, druhým krokem dokončovací mletí na požadovanou velikost částic.

Předemletí probíhalo na ultra odstředivém mlýnu od firmy Retsch (viz Obrázek č. 3.3.2.1). Tento ultra odstředivý mlýn funguje na principu odstředivých sil, kde doprostřed otáčející se spinnerety jsou vkládána vlákna, která jsou následně odstředivou silou unášena na obvod spinnerety. Na obvodu spinnerety je nasazen statický perforovaný válec, přes který jsou vlákna vysokou energií odstředivého zrychlení protlačována, tedy mleta na částice odpovídající velikostem perforaci ve válci. Perforovaný válec je vyměnitelný za jiný válec s odlišnými parametry. Částice se následně ukládají v zásobníku.

Technické parametry:

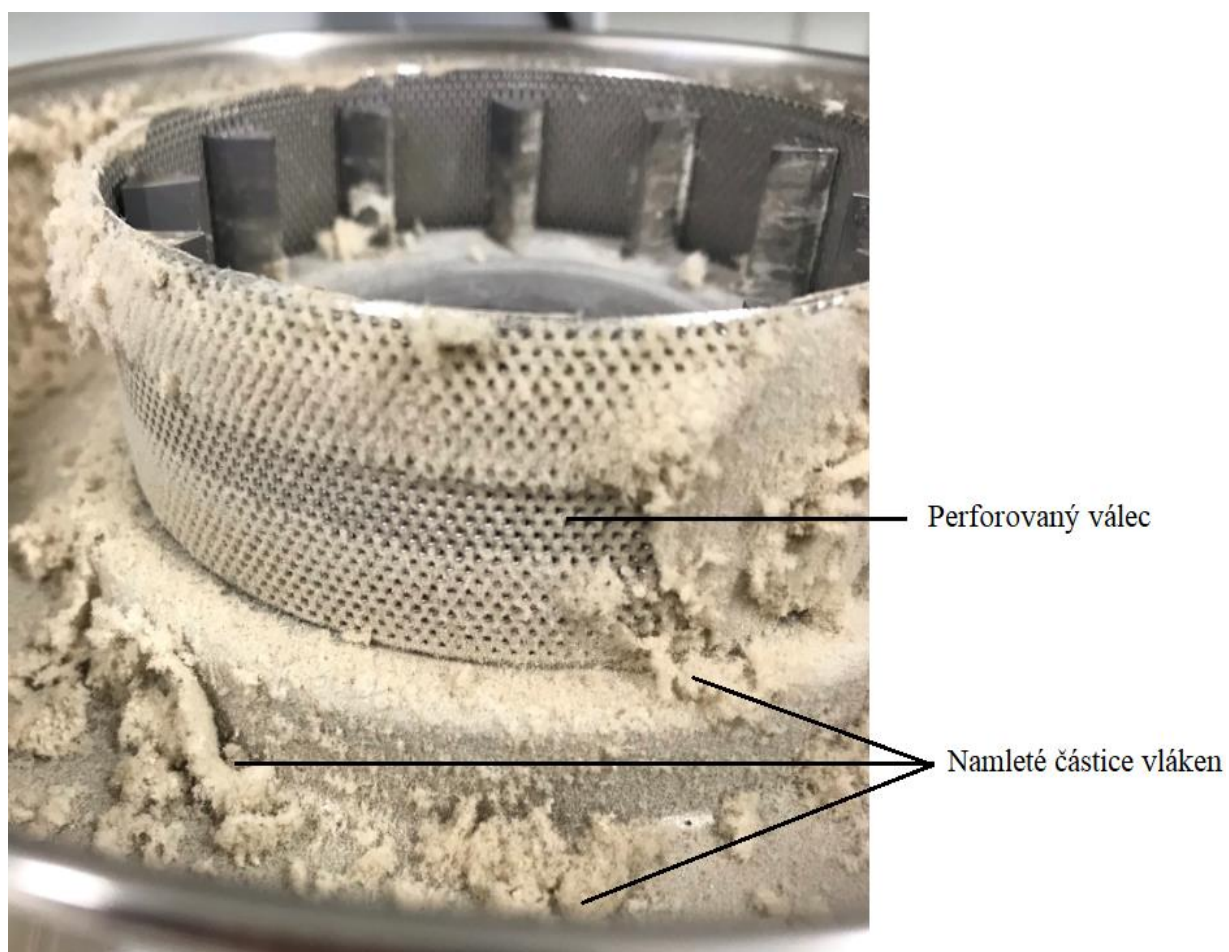
- Otáčky rotoru – $16\,000\text{ ot.min}^{-1}$
- Maximální hmotnost dávkovaného materiálu - 15 g
- Perforace válce – 0,4; 0,2 mm

Otevřený ultra odstředivý mlýn, popis hlavních částí mlýnu.



Obrázek č. 3.3.2.1: Ultra odstředivý mlýn a jeho popis

Pohled do ultra odstředivého mlýnu po procesu mletí vláken.



Obrázek č. 3.3.2.2: Ultra odstředivý mlýn po operaci mletí, popis částí

Namletá vlákna pomocí ultra odstředivého mlýnu, s rozdílnou velikostí otvorů perforovaného válce. Viditelný objemový rozdíl.



Velikost otvoru 0,4 mm

Velikost otvoru 0,2 mm

Obrázek č. 3.3.2.3: Namleté částice s rozdílnou velikostí

Na *Obrázku č. 3.3.4.3* můžeme vidět částice, které byly mlety na ultra odstředivém mlýnu, avšak s rozdílnou velikostí otvorů perforovaného válce.

Na snímku v první Petriho misce sledujeme částice více „nadýchaná“ připomínající nahromaděné prachové částice.

V druhé Petriho misce jsou částice, které prošly menším otvorem v perforovaném válci. Menší částice mají větší povrch, to znamená i větší vzájemnou adhezi a tvorbu kašovitě hmoty, ze které lze volně mezi prsty utvořit kuličku. Tyto částice samovolně tvoří shluky a nejsou v takové míře míseny se vzduchem (shluky nejsou „nadýchané“).

Objemové porovnání vláken před mletím a částic po mletí na ultra odstředivém mlýnu.



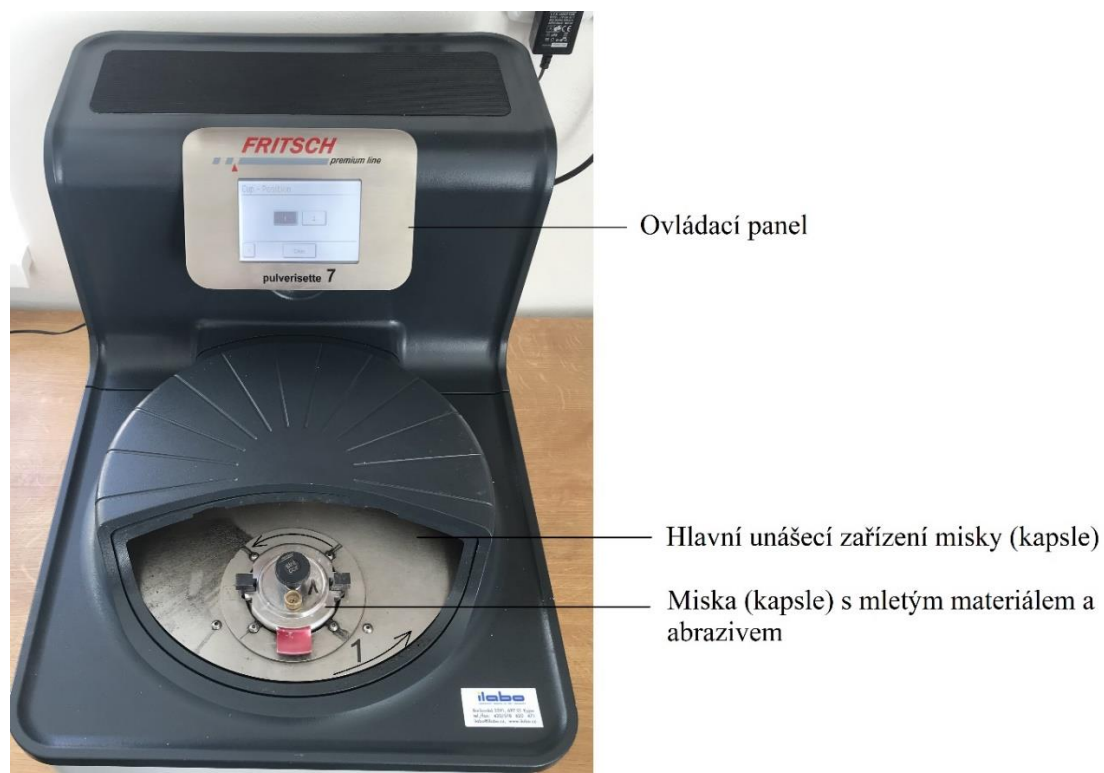
Obrázek č. 3.3.2.4: Porovnání objemových poměrů vláken a předemletého materiálu

3.3.3 Dokončovací mletí

Dokončovací mletí na požadovanou velikost částic probíhalo na planetovém nanomlýnu.

Pulverisette 7 od firmy Fritsch viz. Obrázek č. 3.3.3.1.

Planetový nanomlýn.



Obrázek č. 3.3.3.1: Planetový nanomlýn

Planetový nanomlýn funguje na principu drcení a roztírání vláken na povrchu stěn kapsle (viz Obrázek č. 3.3.3.2) pomocí drtících kuliček (abraziva). Na materiál a abrazivo v kapsli působí odstředivé síly z rotace mlecích misek okolo vlastní osy a rotace hlavního unašeče.

Směr rotace hlavního unašeče a kapsle je opačný, to znamená, že odstředivé síly působí střídavě ve stejném směru, následně v opačném. Tím dochází k oběhu kuliček v kapsli, které s velkým účinkem a velmi malou produkcí drtí materiál.

Technické parametry:

- Hmotnost vstupního materiálu – 3,5g
- Rychlost otáčení – 851 ot.min⁻¹
- Mlecí cyklus – 3 x 3 min



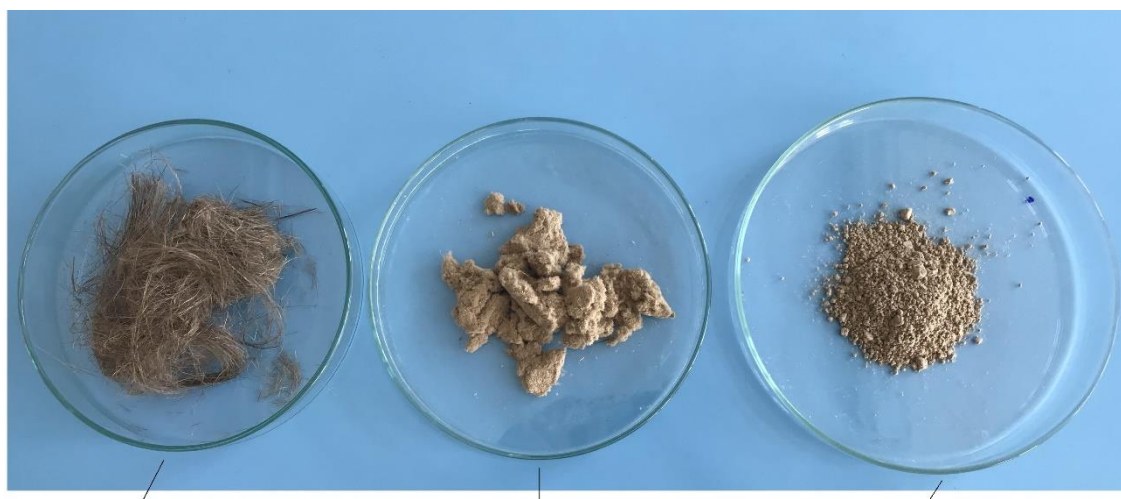
Otevřená kapsle

Abrazivo

Namletý materiál

Obrázek č. 3.3.3.2: Otevřený planetový nanomlýn

Objemové porovnání surového vlákna, předemletých částic vláken na ultra odstředivém mlýnu a namleté částice na planetovém nanomlýnu. Porovnání objemových velikostí viz Obrázek č. 3.3.3.3



Surová vlákna Předemletá vlákna (odstř. mlýn) Namletá vlákna – planetový mlýn

Obrázek č. 3.3.5.3: Objemové porovnání surových vláken vůči vláknům po operacích mletí.

3.4 Výroba kompozitní fólie pomocí kyseliny polymléčné, částic lnu a konopí.

Pro tuto bakalářskou práci byl požadavek vyrobit a otestovat kompozitní fólie, které obsahují složky:

- PLA + 5 hm % plniva
- PLA + 10 hm % ATBC
- PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % plniva

PLA – kyselina polymléčná, ATBC – acetyltributylcitrát, plnivo – částice lnu, konopí

K zajištění rovnoměrné distribuce všech přísad byl nejprve vyroben musterbuch (= struna), který požadovanou distribuci pomůže lépe zajistit. V druhém kroku byla vyráběna fólie pomocí mísení PLA a požadovaného musterbuche.

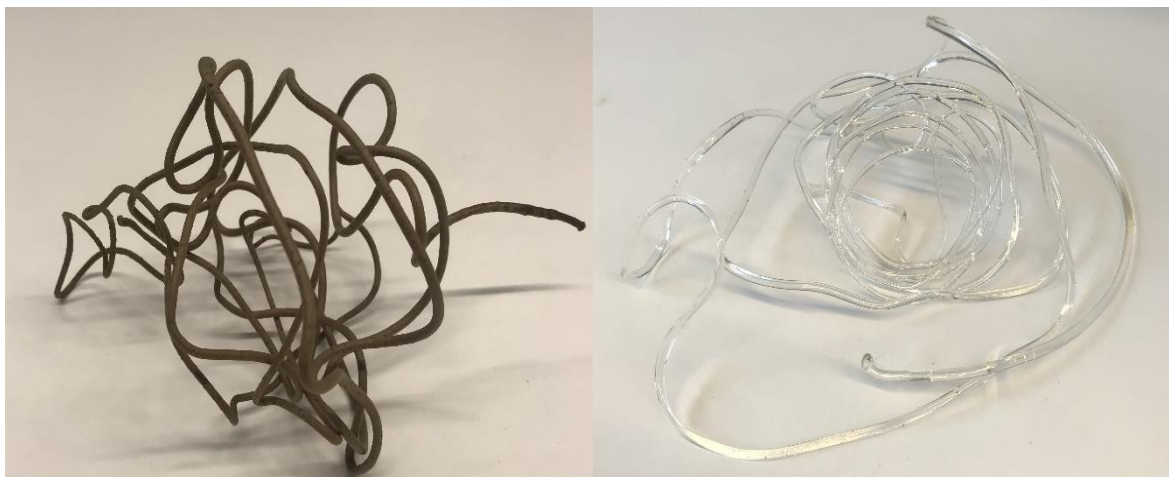
3.4.1 Masterbuch výroba

Částice lnu a konopí jsou míseny v mikrokoupandéru s PLA, následně protlačeny tryskou a schlazeny. Vyrobený útvar je nazýván masterbuch – překládán jako struna. Masterbuch je vyráběn pro zajištění dostatečné distribuce částic plniva oproti hlavní složce matrice. Předejde se tak procesním vadám při výrobě fólie v podobě rozdělených segmentů částic plniva a hlavní složkou matrice. Pro dobré vlastnosti fólie je vyžadována co možná nejlepší distribuce plniva v matrici.

Výroba byla prováděna na mikro kompoundéru MC 15 HT (viz Obrázek č. 3.4.1.2) od společnosti Xplore. Kde vstupuje do procesu výroby PLA ve formě granulátu, částice lnu, konopí ve formě prášku a ATBC ve formě kapaliny dle hmotnostních požadavků.

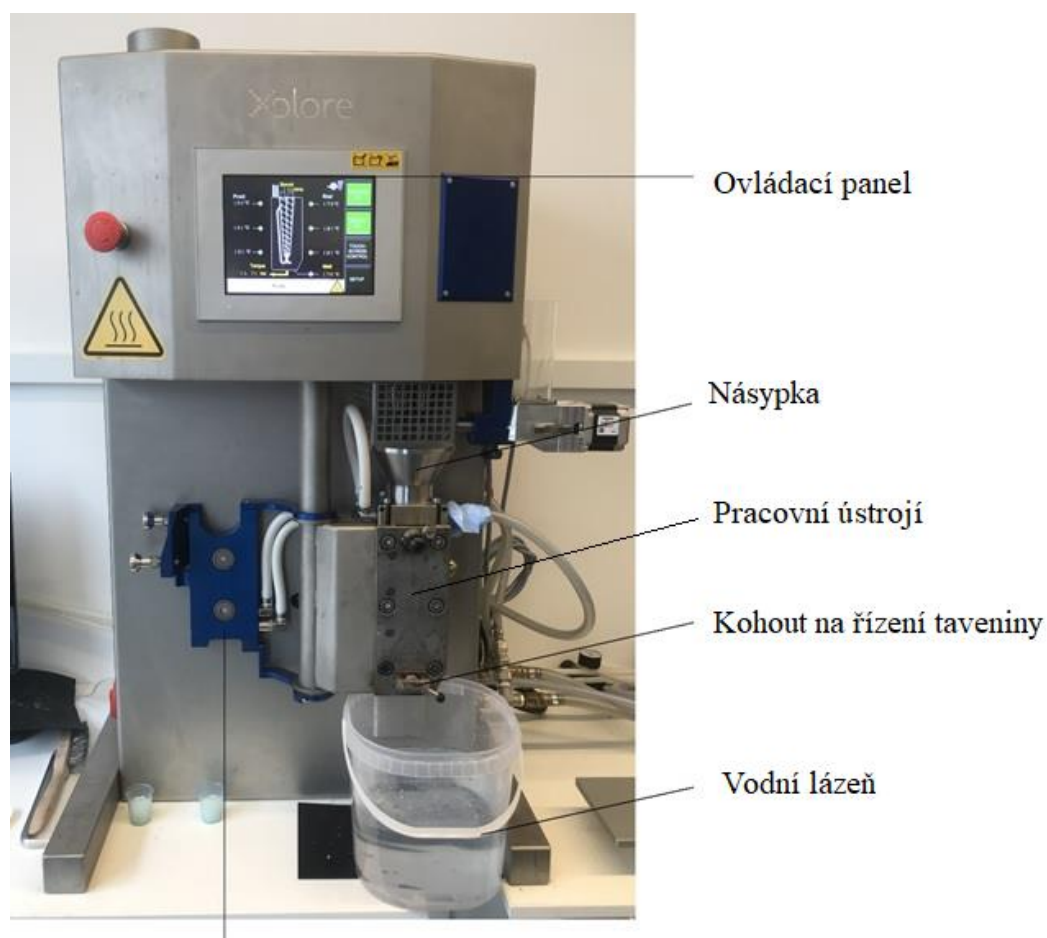
Všechny přísady byly dávkovány do násypky, kde jsou v pracovním ústrojí stroje šnekovými válci (120 ot/min) drceny a míseny po různý časový limit. V případě dávkování většího množství příměsí je vhodné prodloužit čas mísení. Pracovní ústrojí bylo vyhříváno na 190°C. Po promísení přísad byla tavenina protlačena tryskou a následně chlazena ve vodní lázni. Masterbuch PLA a masterbuch plniv na Obrázku č. 3.4.1.1. Vyrobené masterbuche byly rozemlety na granulát, se kterým se dále pracovalo pro výrobu kompozitní fólie.

Masterbuch – struna – PLA + plniva



Obrázek č. 3.4.1.1: Masterbuch s přidáním konopných vláken. Čistý PLA masterbuch

Laboratorní mikro kompoundér MC 15 HT



Chlazení pracovního prostoru stroje

Obrázek č. 3.4.1.2: Mikro kompoundér

Technické parametry:

- Teplota pracovního ústrojí – 200 °C
- Rychlost otáčení šneků v pracovním ústrojí – 120 ot.min⁻¹
- Teplota taveniny – 190 °C

3.4.2 Výroba fólie

Před výrobou kompozitních fólií musel být nejprve masterbuck určitého složení (viz kapitola 3.4.1) rozemletý na granulát, který byl následně sypán do kumpoundéru MC 15 HT.

V první fázi výroby kompozitní fólie je postup takřka totožný jako při výrobě masterbuche. Avšak při výrobě polymerní fólie je tavenina vytlačována plochou tryskou, následně chlazená a přes odtahové zařízení vedena k navíjecímu válci.

Laboratorní mikro koumpoundér MC 15 HT



Chlazení taveniny

Odvádění ústrojí

Navíjecí válec

Obrázek č. 3.4.2.1. Mikro koumpoundér v procesu výroby folie

Technické parametry:

- Teplota pracovního ústrojí – 210 °C
- Teplota taveniny – 204°C
- Poměr rychlosti odváděcího ústrojí 1 000 ot.min⁻¹: 1 200 ot.min⁻¹
- Rychlost navíjecího válce – 50 ot.min⁻¹
- Vyrobené čtyři fólie – viz Kapitola 3.2

U vyráběných kompozitních fólií konkrétně – fólie PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % len, fólie PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí byla zjištěna horší kompatibilita výztuže s matricí. Při protlačování směsi tryskou částice konopí a lnu mohou blokovat část toku taveniny tryskou (ucpou ji) a dochází k trhlinám na vzniklé kompozitní fólii. Tuto vadu lze ovlivnit namletím vláken na menší částice nebo zajistit lepší kompatibilitu s matricí například aditivem na bázi xylanu, který povrchově modifikuje částice vláken.

Další možností zamezení tohoto jevu je přidáním menšího hmotnostního procenta plniva (konopných a lněných částic). Obecně platí, čím vyšší viskozita s vyšším

zastoupením hmotnostních procent plniva vede k vadám na vyrobených fóliích. Folii s touto vadou můžeme vidět na Obrázku č. 3.4.2.2.

Folie s vadou



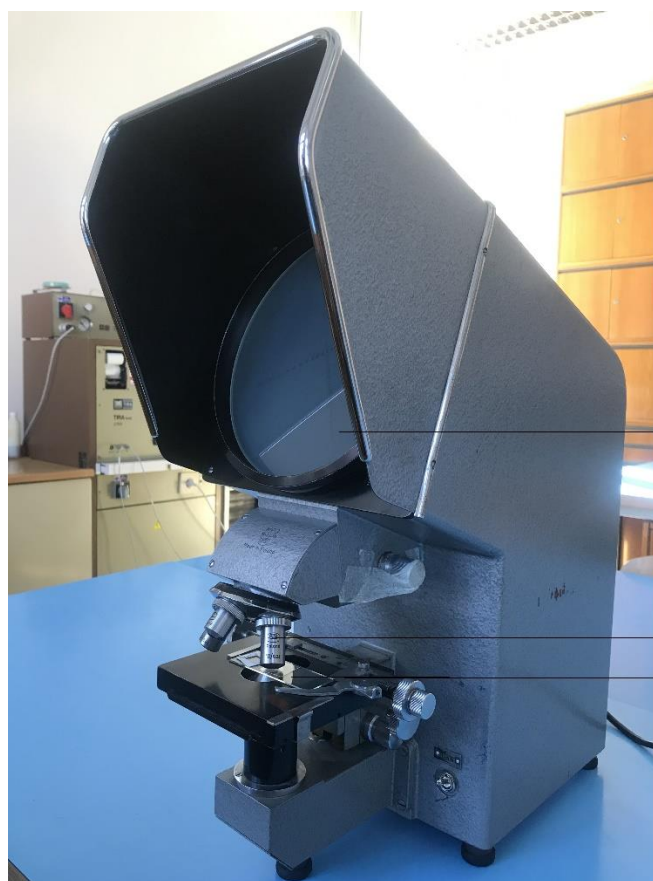
Obrázek č. 3.6.2.2: Fólie s procesní vadou.

3.5 Popis zkoušek na vláknech a vyrobených kompozitních fóliích

3.5.1 Měření průměrů konopných a lněných vláken – Lanametr

Ojednocení elementárních vláken ze svazku je manuálně velmi obtížné, ne pokaždé bylo ojednoceno pouze jedno elementární vlákno. A proto bez měření průměrů vláken u zkoušených vzorků na trhacím stroji by výsledky mohli být zkreslené. Pektinem slepený svazek vláken má větší pevnost než elementární vlákno. Pouhým okem nejsme schopni rozeznat, zda se ve vzorku nachází jedno či více elementárních vláken, právě tuto problematiku odhalí obrazová analýza a s naměřenými hodnotami průměrů vláken můžeme dále počítat při zjišťování jemnosti vláken.

Měření průměrů vláken bylo prováděno na Lanametr, kde je prosvícen vzorek a následně je s délkovou stupnicí promítán na sklo. Bylo měřeno 50 vzorků od každé suroviny – konopí, len.



Zobrazovací část
preparátu s měřítkem

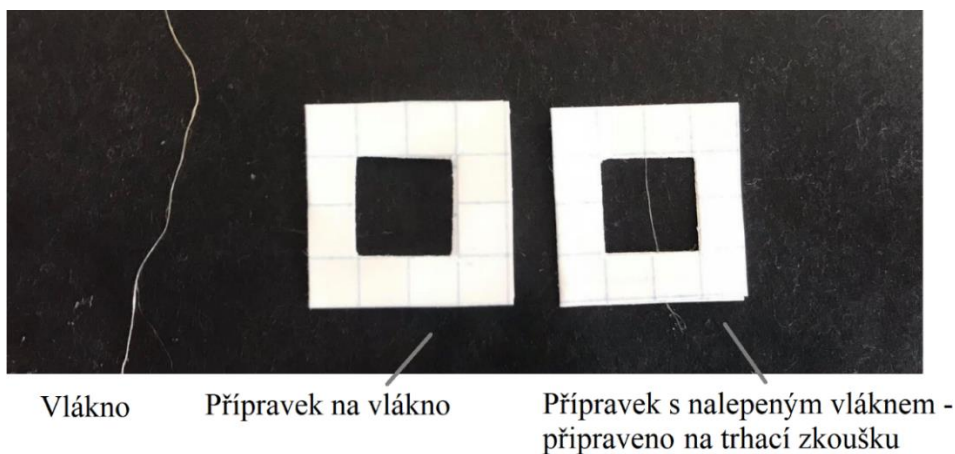
Objektiv
Preparát

Obrázek č. 3.5.1.1: Lanametr na měření průměrů

3.5.2 Měření pevnosti vláken

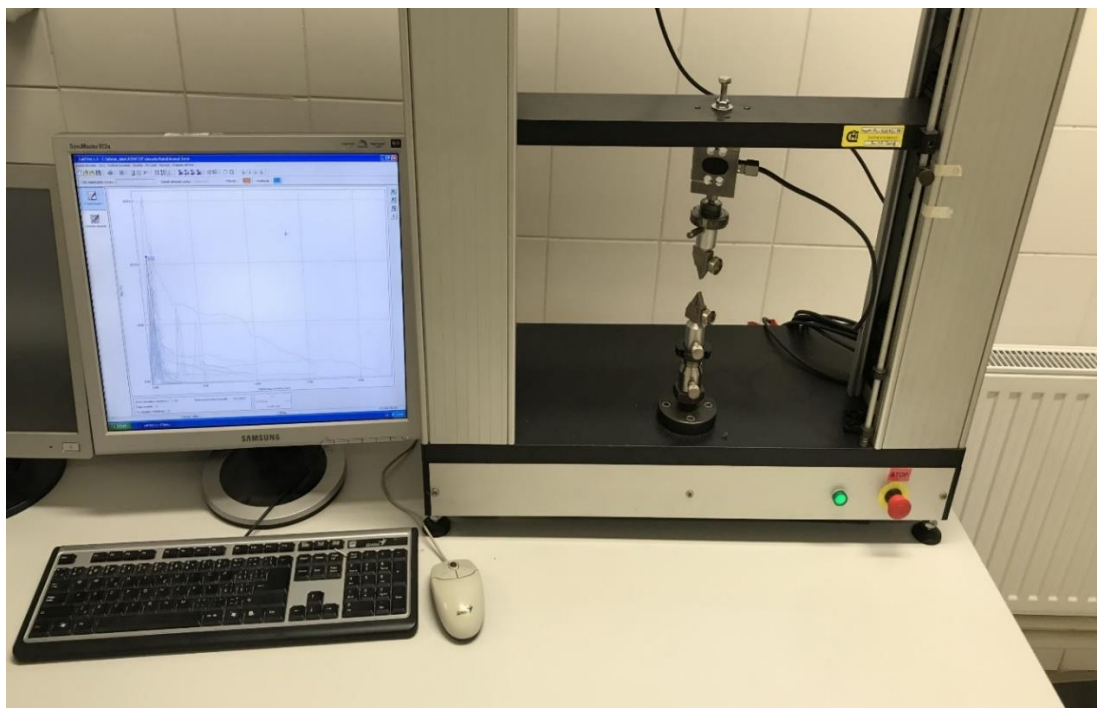
Po ojednocení vláken byla vlákna lepena do připravených papírových přípravků – čtverců (viz Obrázek č. 3.5.2.1), které se následně upevní do čelistí trhačky. Samotný papír po upevnění do čelistí bylo nutno přestříhnout. Následovala zkouška pevnosti vlákna do přetrhu, pomocí oddalujících se čelistí elektronicky připojených k programu na zapisování hodnot. Ukotvení vzorku v čelistech můžeme vidět na Obrázku č. 3.5.2.2.

Postup přípravy vlákna na trhací zkoušku.



Obrázek č. 3.5.2.1 Příprava jednotlivých vláken na trhací zkoušku

Trhací zkouška na trhačce Labtest 2.050 od firmy Labortech.

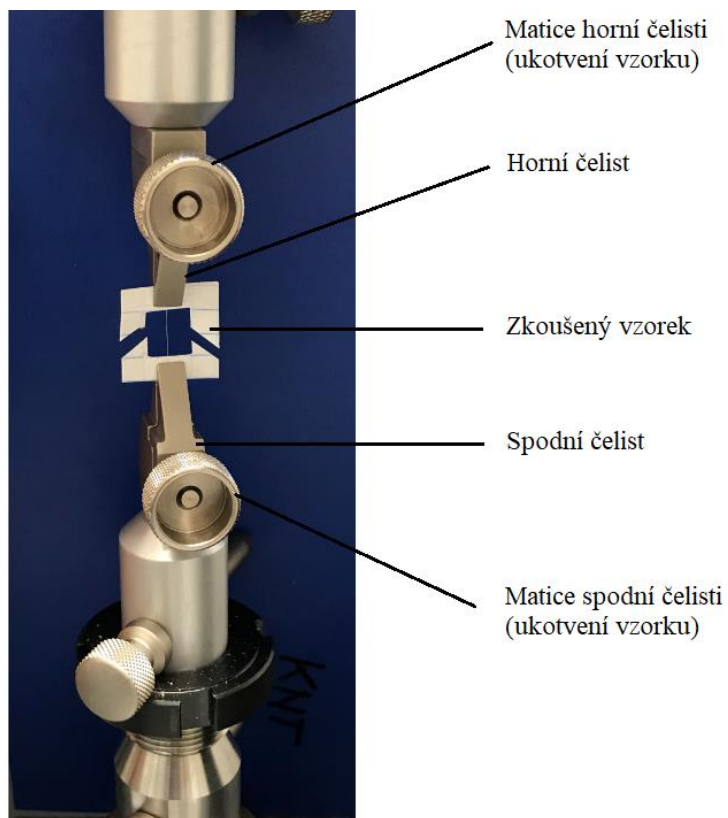


Obrázek č. 3.5.2.2: Trhací stroj

Technické parametry:

- Upínací délka - 100 mm
- Měřicí hlava HBM - 1 000 N
- Rozměr vzorku - 10x10 mm
- Norma ČSN EN 10319
- Počet měření – 50 vzorků z každého materiálu

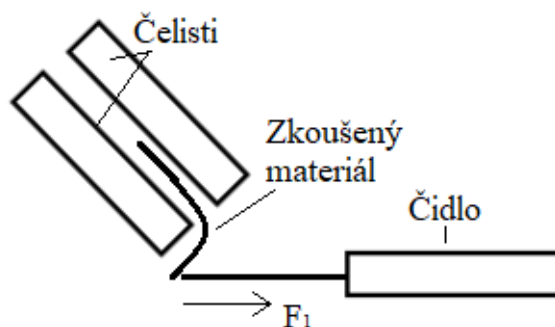
Popis hlavních částí pro ukotvení vzorku v trhačím stroji.



Obrázek č. 3.5.2.3: Upevnění měřeného vzorku, popis hlavních částí trhačky

3.5.3 Měření ohybové tuhosti

Tuhost je odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil. Je vyjádřena jako ohybový moment M_0 v $[mN.cm]$. [35]



Obrázek č. 3.5.3.1: Schéma měřidla na ohybovou tuhost

Technické parametry:

- Počet měření každého materiálu – 10x.

Měření bylo prováděno na tuhoměru TH – 5, dle normy ČSN 80 058 „Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií.“

$$M_0 = F_1 \cdot K \quad (3)$$

$$K = \frac{l}{b} = \frac{1,51}{2,5} = 0,604 \quad (4)$$

M_0 – ohybový moment, F_1 – síla potřebná k ohybu vzorku, K – konstanta vypočtená z rozměru vzorku – viz norma, l – délka měřeného vzorku při výchylce 60° , b – pracovní šířka vzorku

3.5.4 Měření tepelných vlastností materiálů na DSC

DSC neboli diferenční snímací kalorimetr je používán na základě zjednodušeného modelu lineárního vztahu mezi tokem tepla a teplotní diferencí. [36]

Měření tepelných vlastností fólií s částicovou výztuží lnu, konopí a kelímků z polypropylenového materiálu probíhalo na přístroji Mettler Toledo DSC 3+. Principem měření je sledování tepelného příkonu do vzorku potřebného k udržení nulového tepelného rozdílu mezi referenční látkou a sledovaným vzorkem.

Technické parametry

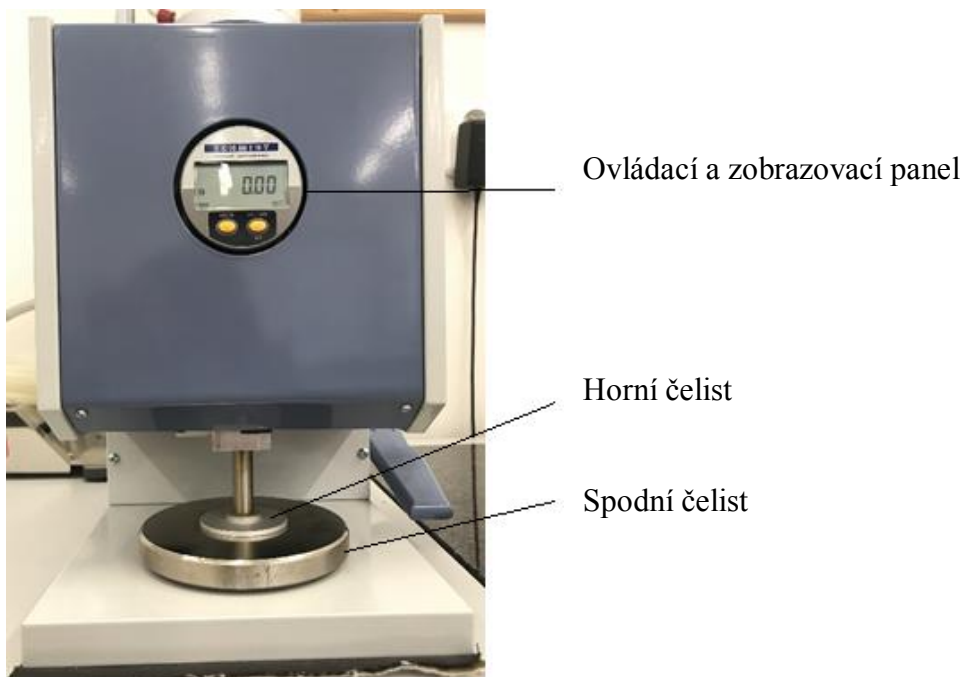
- Teplotní rozsah pece -120°C až 700 °C
- Teplotní přesnost 0,1°C
- Rychlost ohřevu 0,1 až 50 °C/min



Obrázek č. 3.5.4.1: DSC přístroj na měření tepelných vlastností materiálů

3.5.5 Měření tloušťky

Měření kompozitních fólií probíhalo na tloušťkoměru D – 2000 T od společnosti Mesdan s.p.a. Italy. Každý vzorek byl třikrát měřený v odlišných místech fólie normovaným přitlakem mezi horní a spodní čelisti.



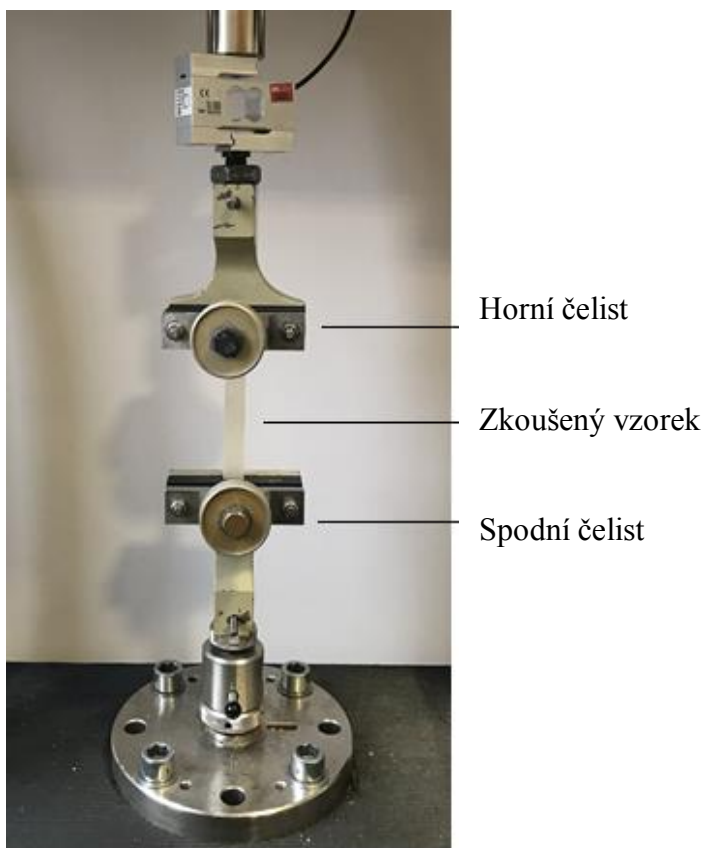
Obrázek č. 3.5.5.1: Tloušťkoměr

3.5.6 Měření pevnosti kompozitních fólií

Pevnost vyrobených kompozitních materiálů bylo prováděno na trhačce Tiratest 2 300.

Technické parametry:

- Upínací délka - 100 mm
- Rozměr vzorku - 150x15 mm
- Hlava – 1 000N
- Norma ČSN EN 10319
- Počet měření – 15 vzorků z každého materiálu



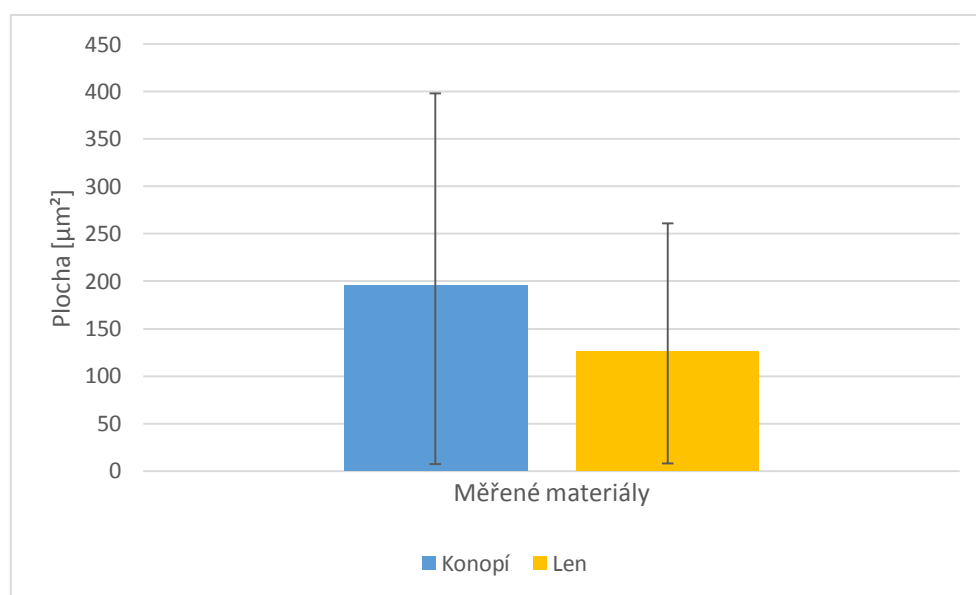
Obrázek č. 3.5.6.1: Trhací stroj Tiratest 2300 (detail upnutí vzorku)

4 Výsledky a diskuze

4.1 Měření plochy řezů vláken – obrazová analýza

Tabulka č. 4.1.1: Základní statistické vyjádření měření plochy řezů – konopí

Plocha	Průměr [μm^2]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti
Konopí	195,46	46,52	23,80	(187,9 - 202,9)
Len	126,60	48,38	38,22	(118,8 - 134,3)



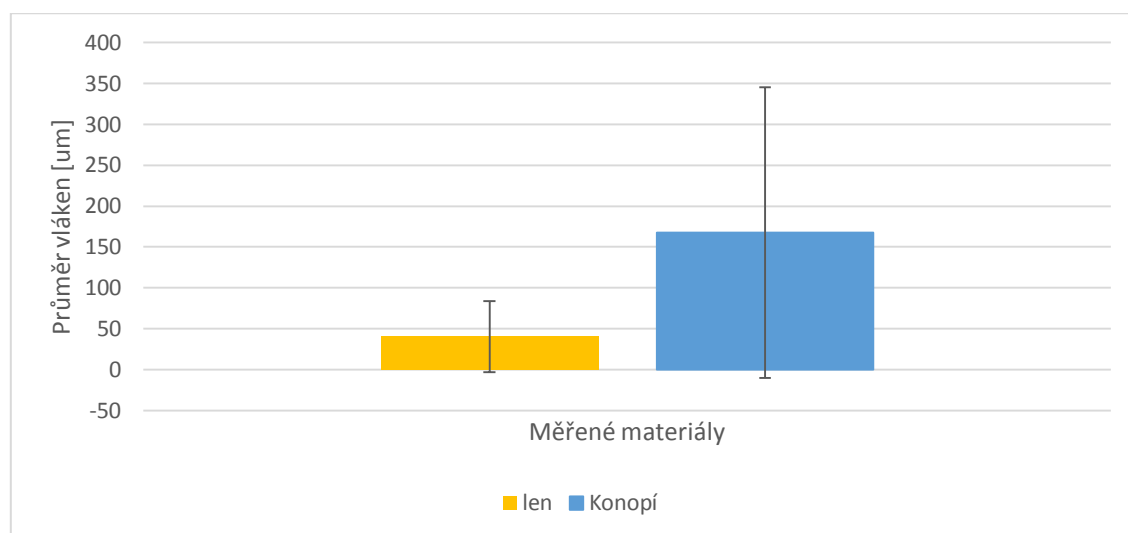
Obrázek č. 4.1.1: Znázornění plochy řezů lnu a konopí

Značná variabilita geometrických vlastností (plocha řezu Obrázek č. 4.1.1) je dána charakterem lýkových materiálů, jejich přírodním původem a i místem řezu, neboť technická vlákna jsou složena z elementárních vláken a mají vřetenovitý tvar a tedy i v délce vlákna různé průměry.

4.2 Měření průměrů vláken – lanametr

Tabulka č. 4.2.1: Základní statistické vyjádření měření průměrů vláken

	Průměr [um]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti
Len	40,13	12,06	30,5	(36,7 - 43,5)
Konopí	167,67	36,09	21,52	(157,44 - 177,9)



Obrázek č. 4.2.1: Znáznornění průměrů vláken

Problematikou měření průměrů vláken na lanametr je fakt, že měřená vlákna jsou na podložním sklíčku téměř vždy položena širším průměrem směrem k pohledové rovině, nelze tak přesně průměr změřit. Tuto chybu se snažíme eliminovat pomocí zpřesnění výpočtu jemnosti vláken viz kapitola 4.2.1.

4.2.1 Zpřesnění výpočtu jemnosti vláken

Odhad jemnosti vychází z předpokladu kruhových vláken.

Je-li jemnost

$$T_1 = \varrho \cdot S \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

ϱ – hustota materiálu [kg/m³], S – plocha řezu [m²]

$$T_2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \varrho \cdot 10^6 \quad (6)$$

F – maximální feret [m]

Poměrem těchto hodnot vznikne korekční faktor H

$$\frac{T_1}{T_2} = H \quad (7)$$

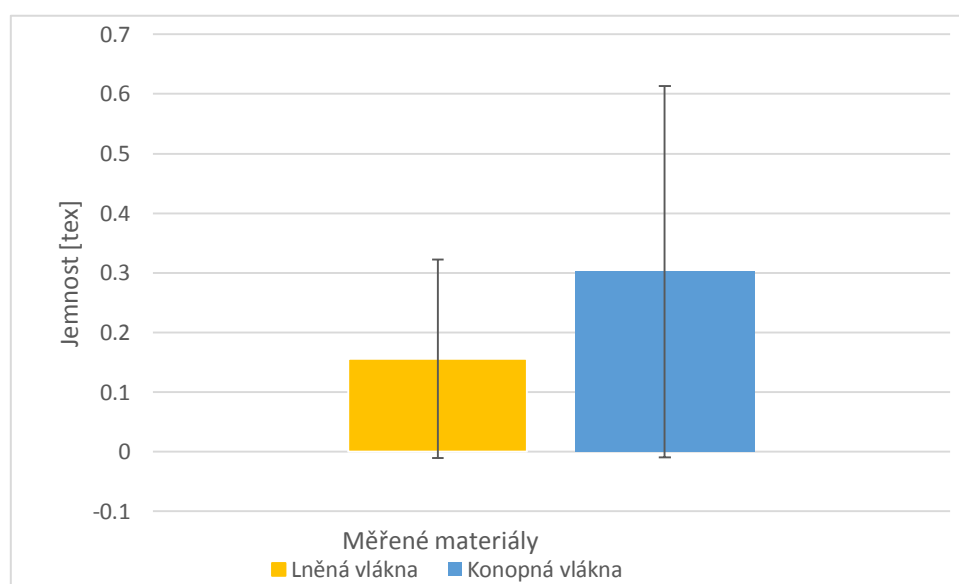
Vyjádření zpřesnění jemnosti násobením korekčního faktoru s T_2 viz. *Vzorec 4*.

$$T_1 = \bar{H} \cdot T_2 \quad (8)$$

Po dosazení za T_2 dostaneme vztah pro zpřesnění odhadu jemnosti.

Tabulka č. 4.2.1.1: Základní statistické vyjádření jemnosti vláken pomocí Vzorce 8

Jemnost [tex]	Průměr [tex]	Směrodatná odchylka [tex]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [tex]
Len	0,16	0,05	264,9	(0,14 – 0,16)
Konopí	0,32	0,11	300,7	(0,28 – 0,31)



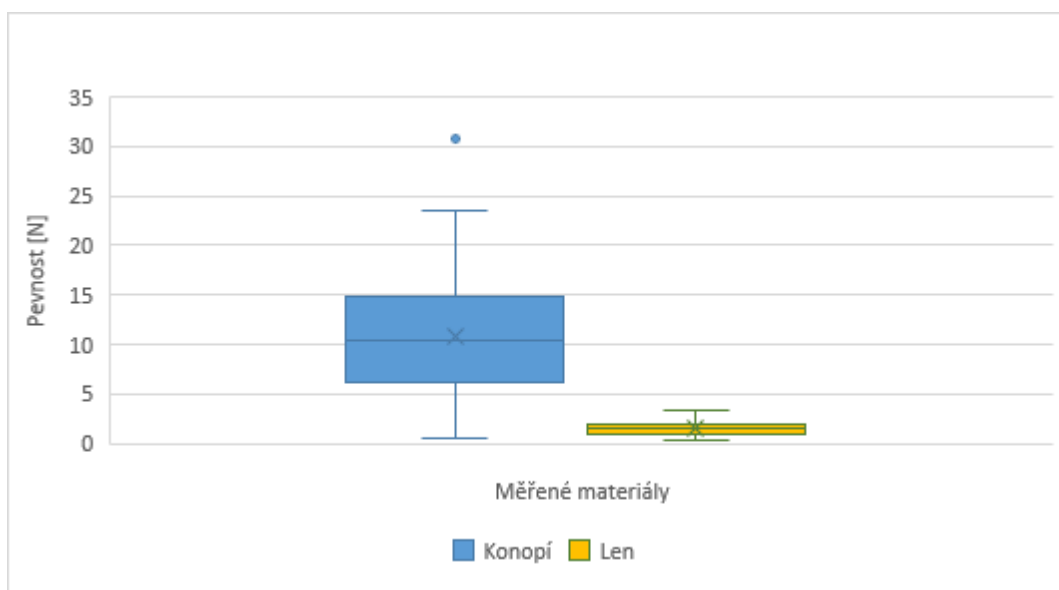
Obrázek č. 4.2.1.1: Znáznornění jemnosti vláken

Důvodem vysoké variability jemnosti uvedených vláken (viz Obrázek č. 4.2.1.1) je opět charakter lýkových vláken. Strukturu a morfologii vláken nemáme možnost řídit, to je důvodem vysoké variability jak průměrů, tak jemnosti vláken. Uvedený výpočet pouze zpřesňuje odhad jemnosti z podélného pohledu.

4.3 Měření pevnosti vláken

Tabulka č. 4.3.1: Základní statistické vyjádření pevnosti lněných vláken

Pevnost F_{max} [N]	Průměr [N]	Směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [N]	Interval spolehlivosti[N]
Len	1,56	0,75	47,96	(1-1,78)
Konopí	10,78	6,26	58,05	(9 - 12,55)



Obrázek č. 4.3.1: Znázornění pevnosti vlákenných vzorků

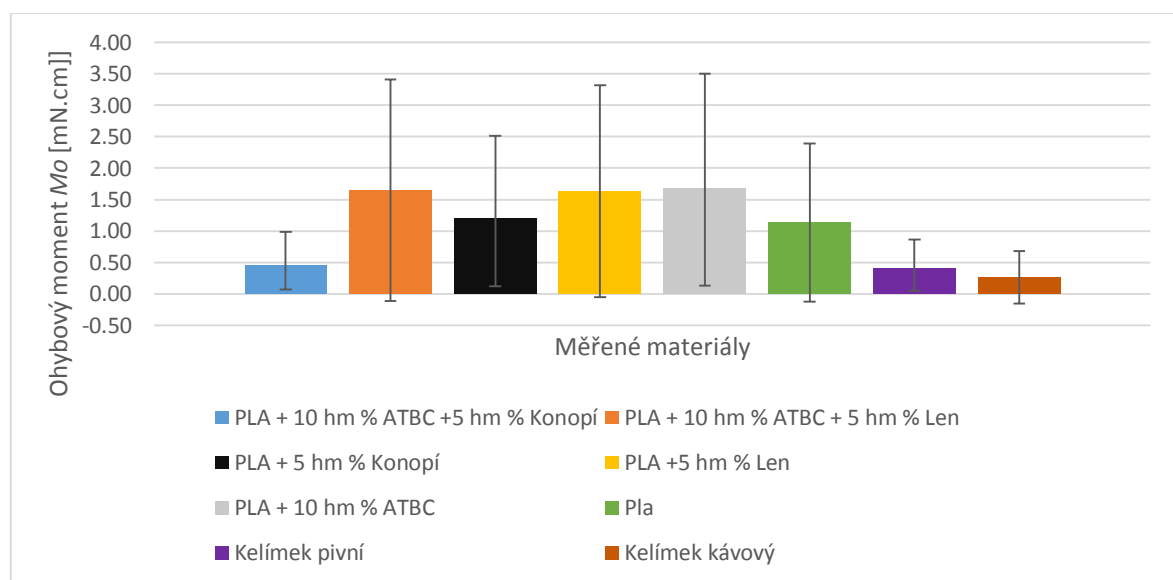
Dle získaných dat a vypočítané statistiky, můžeme sledovat řadový rozdíl pevností vláken konopí a lnu. Oba materiály byly testovány ve stejných laboratorních podmínkách v surovém, suchém stavu. Teorie uvádí deseti násobné zvýšení pevnosti u konopných a lněných vláken při namočení, tedy přibližnou pevnost konopných vláken okolo hodnoty 150 N a lněných vláken okolo 40 N.

4.4 Měření ohybové tuhosti, výpočet objemové hmotnosti

Tabulka č. 4.4.1: Statistické vyjádření měření ohybové tuhosti M_o [mN.cm] fólií

M_o [mN.cm]	Průměr [mN.cm]	Směrodatná odchylka [[mN.cm]]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [mN.cm]
PLA	1,13	0,22	19,62	(1,26 - 1)
PLA + 10 hm % ATBC	1,68	0,23	13,69	(1,81 - 1,54)
PLA + 5 hm % konopí	1,20	0,20	16,74	(1,32 - 1,08)
PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí	0,46	0,13	27,63	(0,52 - 0,38)
PLA + 5 hm % len	1,63	0,10	5,89	(1,68 - 1,57)
PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % len.	1,65	0,20	12,27	(1,76 - 1,53)
Kelímek kávový	0,18	0,11	59,72	(0,12 0,24)
Kelímek pивní	0,41	0,09	23,15	(1,32 - 1,08)

Ohybové tuhosti vyrobených kompozitních fólií s porovnáním s pивním a kávovým kelímek jsou graficky znázorněny na Obrázku č. 4.4.1.



Obrázek č. 4.4.1: Znázornění ohybových tuhostí měřených materiálů

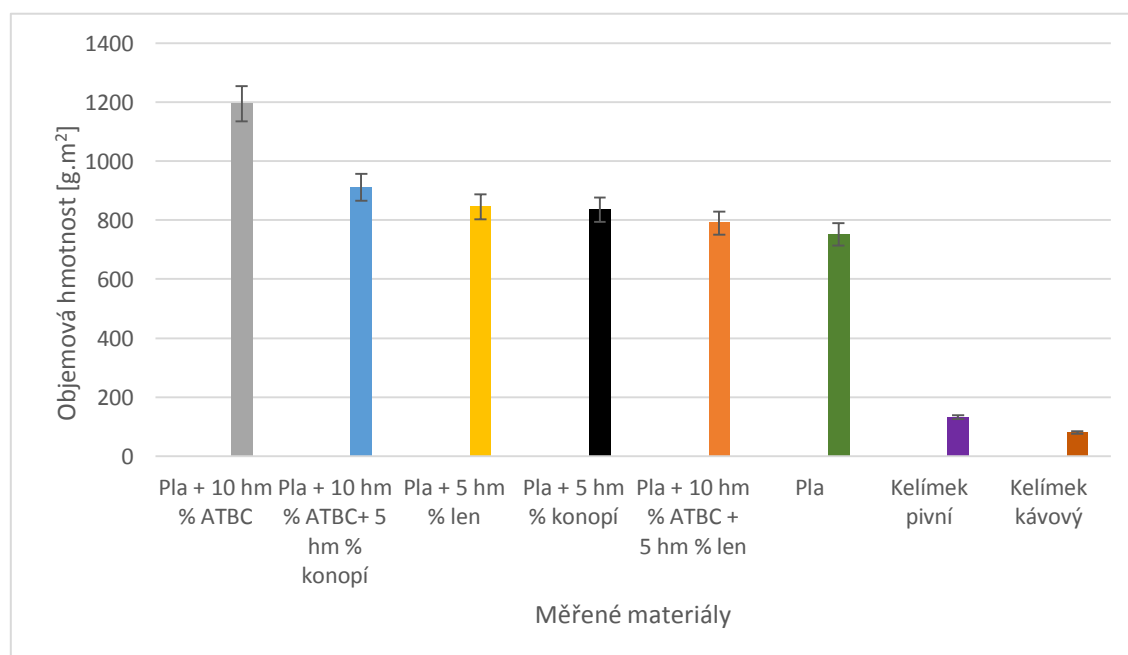
Z grafu na Obrázku č. 4.4.1 můžeme sledovat, že kompozitní fólie s přidáním lnu mají větší ohybovou tuhost, než fólie s přidáním konopí. Zatímco konopná vlákna mají dle měření větší pevnost. Zřejmě je u fólií s lněným plnivem stejnoměrnější rozložení výztuže.

Výpočet objemové hmotnosti

Tabulka č. 4.4.2: Statistika objemové hmotnosti

	Hmotnost m [g]	Tloušťka t [m]	Velikost strany a [m]	Velikost strany b [m]	Objemová hmotnost ρ_s [g.m ³]
PLA	0,12	0,0004	0,02	0,02	751,87
PLA + 10 hm % ATBC	0,14	0,0003	0,02	0,02	1195,00
PLA + 5 hm % konopí	0,09	0,00028	0,02	0,02	835,71
PLA + 10 hm % ATBC+ 5 hm % konopí	0,1	0,00028	0,02	0,02	911,67
PLA + 5 hm % len	0,11	0,00034	0,02	0,02	844,85
PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % len	0,17	0,00054	0,02	0,02	789,81
Kelímek kávový	0,035	0,00011	0,02	0,02	79,54
Kelímek pивní	0,06	0,00012	0,02	0,02	131,25

Objemová hmotnost.



Obrázek č. 4.4.2: Znázornění objemových hmotností měřených materiálů

Dle predikce ze statistiky ohybové tuhosti má největší plošnou hmotnost fólie PLA + 10 hm % ATBC. Tento jev může být způsoben dokonalým vytlačením taveniny a dobrou kooperací kyseliny polymléčné s acetyltributylcitrátem.

Objemová hmotnost [kg.m⁻³] byla počítána dle rovnice:

$$\rho_v = \frac{m}{a \cdot b \cdot t} \quad (8)$$

m – hmotnost vzorku [g], a – délka strany vzorku [m²], b – šířka strany vzorku [m²],
 t – tloušťka vzorku [m²]

Měření probíhalo pomocí gravimetrické metody, kde je nutností přesně zvážit normovaný vzorek rozměru 100 x 100 mm a dle vztahu o plošné hmotnosti přepočítat na [kg.m⁻³].

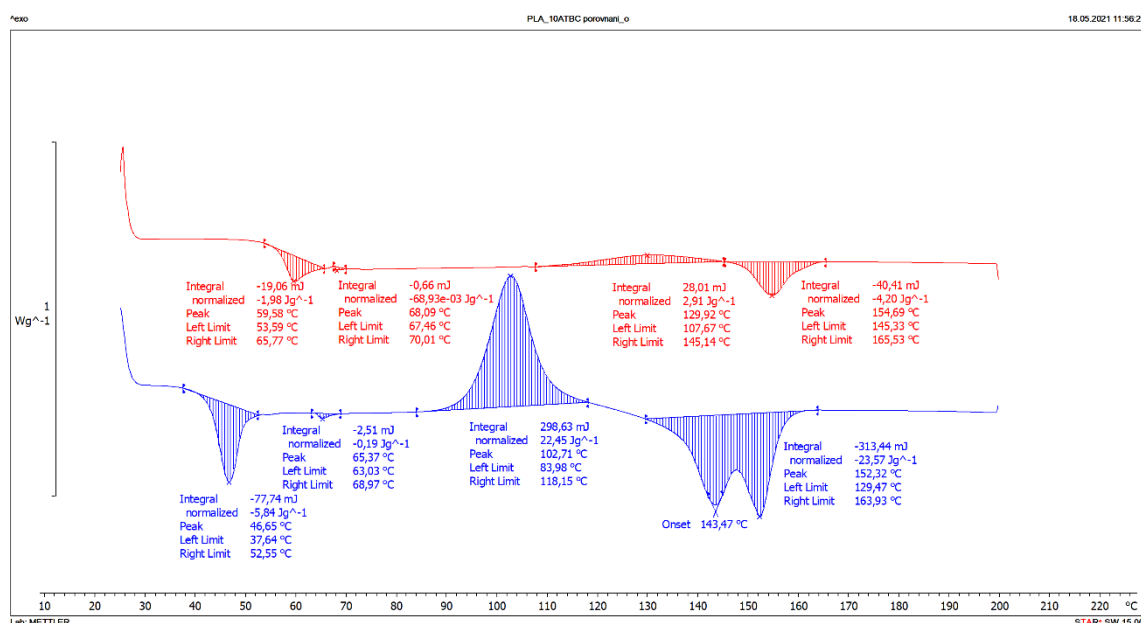
4.5 Výsledky DSC Analýzy

Byla provedena termická analýza vyrobených fólií.

Program měření:

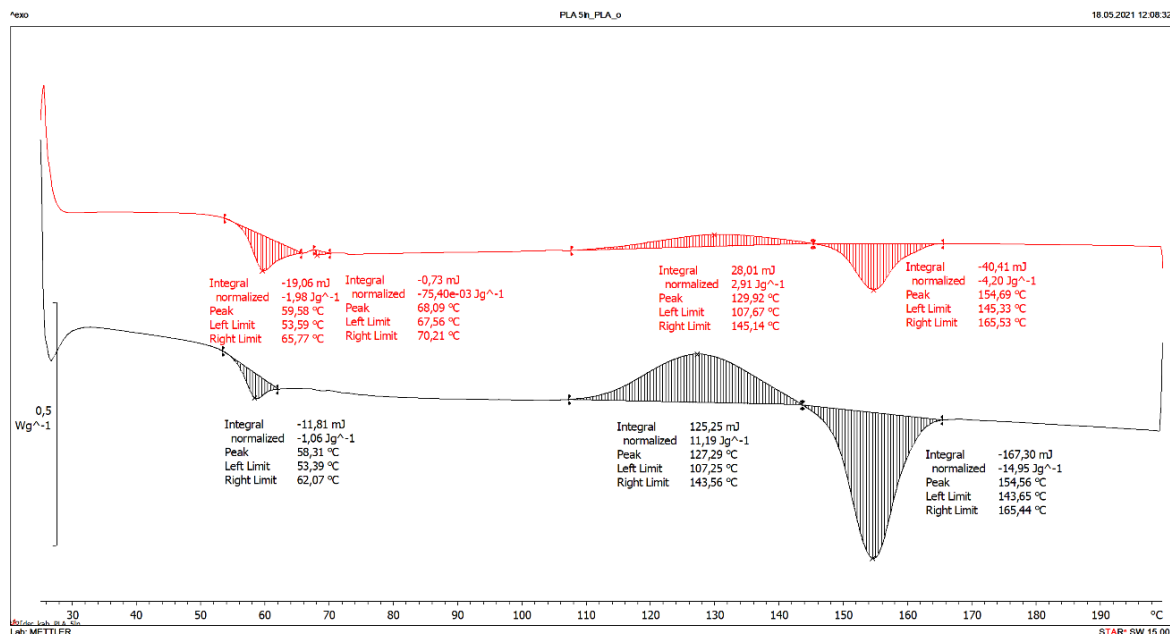
1. Izoterma 1 minuta, 25 °C
2. Ohřev 25 – 200 °C, rychlostí 10°C/min
3. Chlazení 200 – 25 °C, rychlostí 10°C/min

Velikost navážky jednotlivých vzorků byla v rozmezí 10 -12 mg.



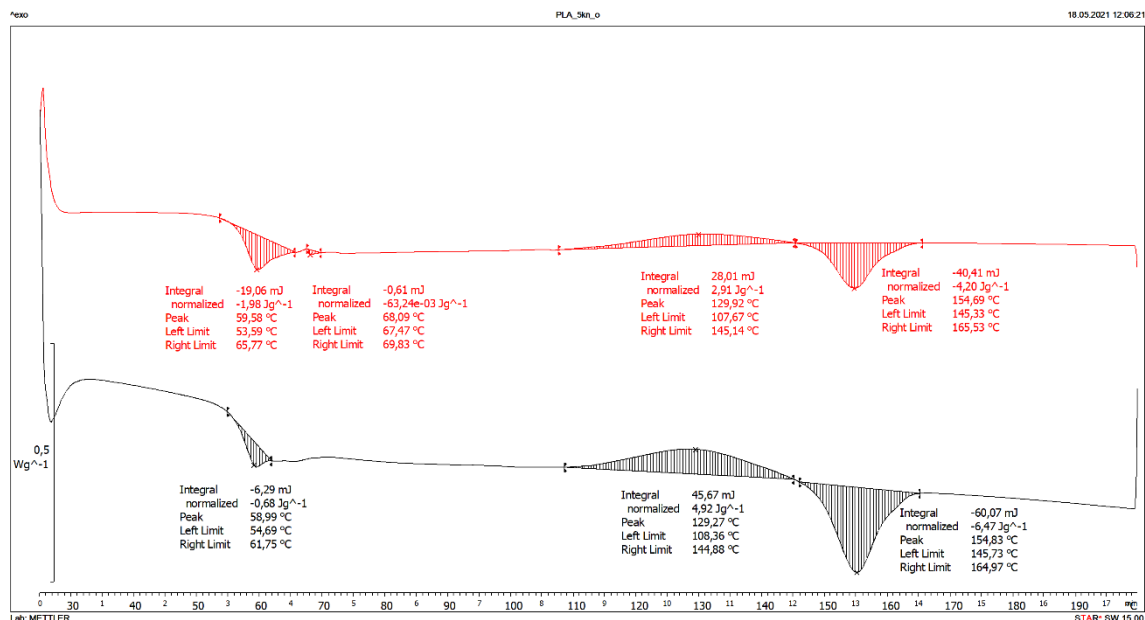
Obrázek č. 4.5.1: DSC analýza PLA fólie a PLA fólie se změkčovadlem (10 % ATBC)

Na Obrázku č. 4.5.1 můžeme vidět srovnání DSC analýzy **PLA** a **PLA se změkčovadlem**. Vzorek bez změkčovadla má nižší T_g 46,7 °C oproti 59,6 °C. U vzorku se změkčovadlem je výrazný exothermní děj (tzv. „studená“ krystalizace) při 102,7 °C oproti 129,9 °C. Tání T_m má dva vrcholy 143,5 a 152,3 °C oproti 154,7 °C. Lze konstatovat, že změkčovadlo snižuje přechodové teploty PLA.



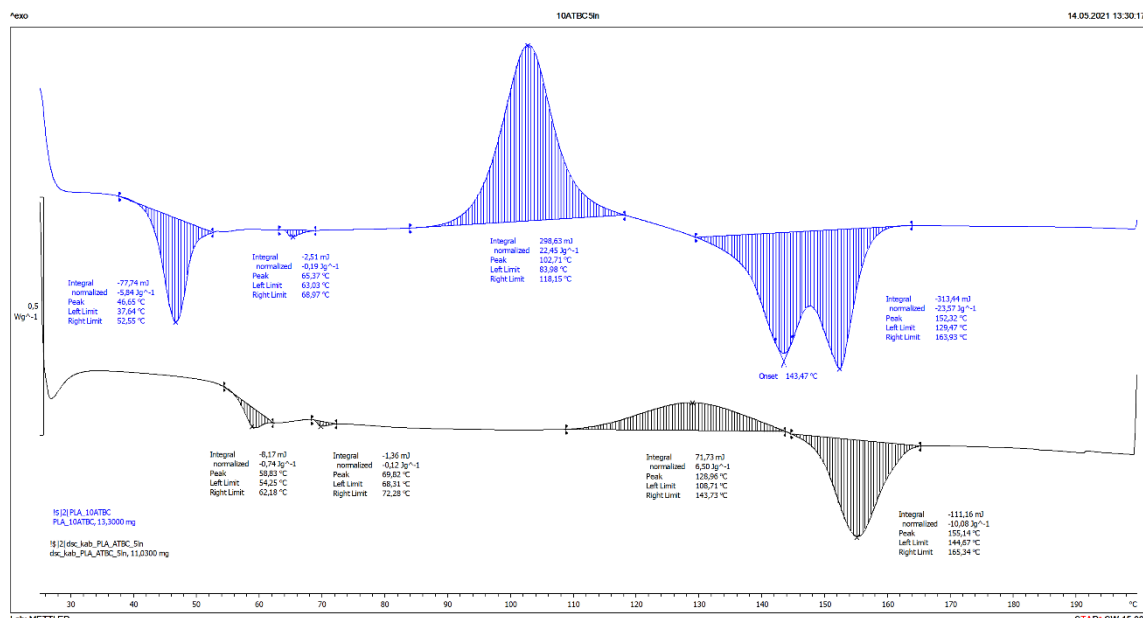
Obrázek č. 4.5.2: DSC analýza PLA + 5 hm % lnu a PLA fólie

Na Obrázku č. 4.5.2 je porovnání DSC termogramů **PLA** fólie a PLA fólie s 5 hm % lněných částic. PLA s lněnými částicemi má větší entalpii krystalizace 11,19 J.g⁻¹ a větší entalpii tání -14,95 J.g⁻¹, což ukazuje na větší podíl krystalické fáze ve fólii s příměsí lněných částic.



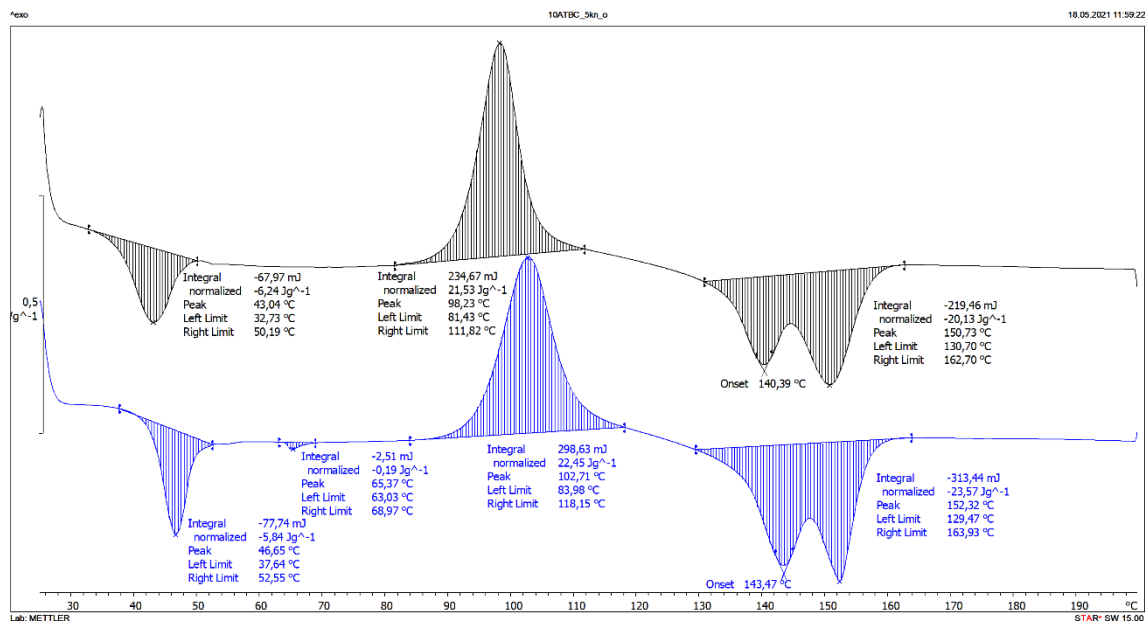
Obrázek č. 4.5.3: DSC analýza PLA + 5 hm % konopí a PLA fólie

Dle Obrázku č. 4.5.3 Folie PLA s konopnými částicemi má větší entalpii krystalizace $4,92 \text{ J.g}^{-1}$ a větší entalpii tání $-6,47 \text{ J.g}^{-1}$, což ukazuje na větší podíl krystalické fáze ve fólii s příměsí konopných částic. Avšak oproti PLA fólii s příměsí lněných částic není toto zvýšení tak výrazné. U lněných částic je tento efekt téměř čtyřnásobný a u konopných částic není ani dvounásobný.

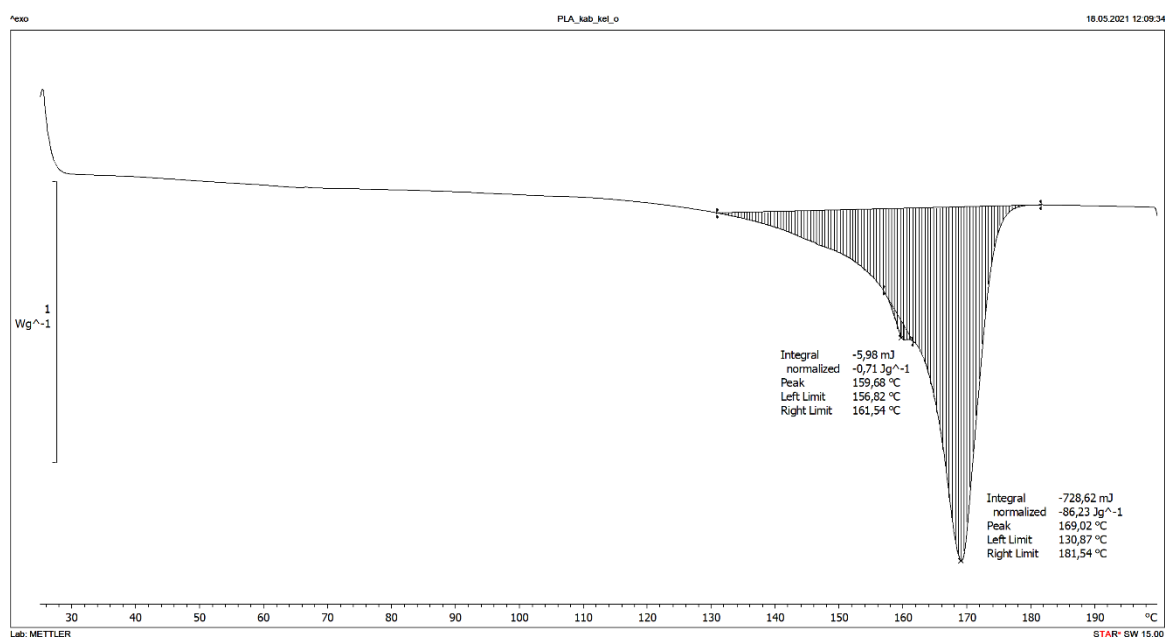


Obrázek č. 4.5.4: DSC analýza PLA + 10 % ATBC folie a folie 5 hm % lnu + 10 hm % ATBC

Na Obrázku č.4.5.4 je porovnání DSC termogramů PLA fólie se změkčovadlem a PLA fólie s 5 hm % lněných částic a změkčovadlem. Zajímavé je, že změkčovadlo nijak výrazně neovlivňuje průběh termogramu (T_g a T_m) s příměsí lněných částic. Ztrácí se vliv na entalpii a tedy i krystalický podíl. Tento jev však lze pozorovat u fólie s příměsí konopných částic (Obrázek č.4.5.5).



Obrázek č. 4.5.5: DSC analýza PLA + 10 hm % ATBC+ 5 hm % konopí fólie a fólie PLA + 10 hm % ATBC



Obrázek č. 4.5.6: DSC analýza běžně používaného kelímku na teplé a studené nápoje

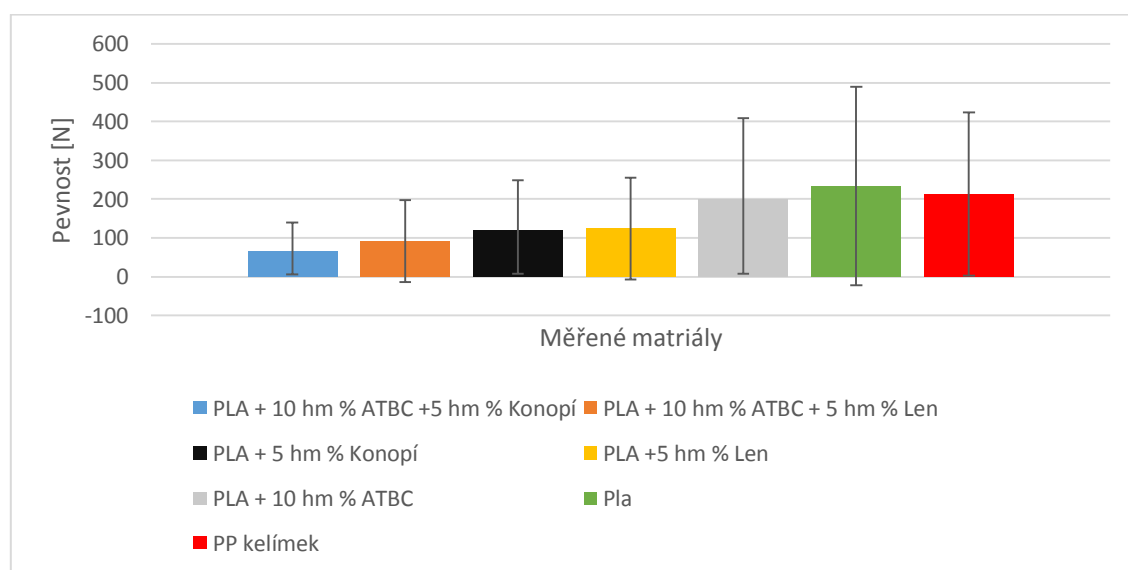
Na Obrázku č.4.5.6 je DSC termogram běžně používaného PP kelímku. Není zde projev T_g (teplota zesklnění polypropylenu je od -20 do -10 °C) a materiál taje v intervalu od 130 do 180 °C. Polypropylen, ačkoliv je používán vysoko nad teplotou zesklnění, je houževnatý a je možné ho používat při běžných teplotách. Toto umožňuje použití například jak pro horké, tak pro studené nápoje.

Z výše uvedeného plyne, že vyrobené a testované fólie mají oblast použití spíše při nižších („pokojových“) teplotách, nehodí se pro horké nápoje.

4.6 Měření pevnosti kompozitních fólií

Tabulka č. 4.6.1: Základní statistické vyjádření pevnosti kompozitní folie – PLA

Pevnost F_{max} [N]	Průměr [N]	Směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [N]
PLA	234,47	36,55	15,59	(255,8-213)
PLA + 10 hm % ATBC	200,39	14,90	7,44	(208,9-191,7)
PLA + 5 hm % konopí	120,60	12,46	10,33	(127,7-113,4)
PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % len	92,19	22,56	24,47	(105,2-79,1)
PLA +5 hm % len	123,94	12,46	10,05	(131,1-116,7)
PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí	66,82	10,3	15,42	(72,7-60,8)
PP kelímek	213,29	21,22	23,01	(210,1 – 252,4)



Obrázek č. 4.6.1: Znáznornění pevnosti kompozitních fólií

Z Obrázku č. 4.6.1 můžeme sledovat dominantní pevnost v tahu fólie, do které nebylo přidáno žádné plnivo, tedy pouze fólie z PLA. S rostoucím počtem složek ve fólii pevnost klesá, tento jev může být způsoben nedokonalou kompatibilitou plniva se zbytkem složky folie. Pevnost fólie ovlivní nejen přídavek plniva, ale i přídavek změkčovadla. Kelímek proti všem vyrobeným fóliím měl největší pevnost v tahu.

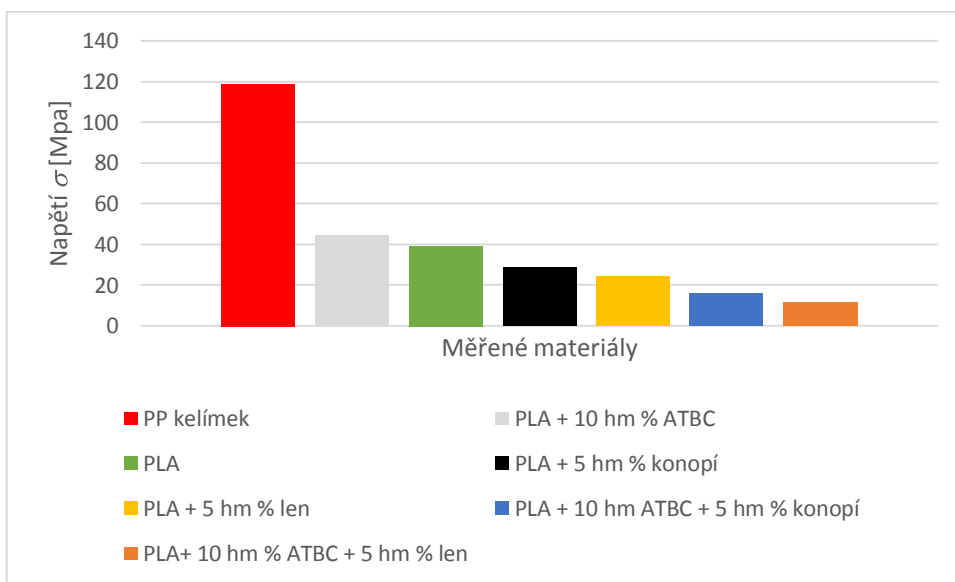
4.6.1 Výpočet napětí

$$\sigma = \frac{F}{t \cdot a} \quad (9)$$

σ - napětí [N.m⁻²] [Pa]

Tabulka č. 4.6.1.1: Hodnoty k výpočtu napětí

	F [N]	a [mm]	t [mm]	σ [MPa]
PLA	234,47	15	0,4	39,08
PLA + 10 hm % ATBC	200,33	15	0,31	44,53
PLA + 5 hm konopí	120,6	15	0,21	28,71
PLA + 10 hm ATBC + 5 hm % konopí	66,82	15	0,22	15,91
PLA + 5 hm % len	123,94	15	0,32	24,31
PLA+ 10 hm % ATBC + 5 hm % len	92,19	15	0,51	11,38
PP kelímek	213,29	15	0,12	118,49

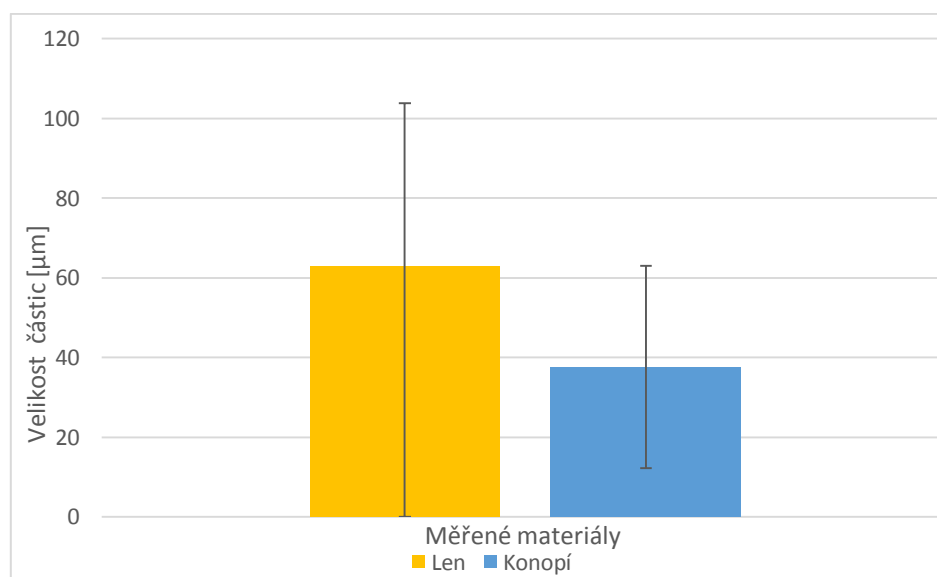


Obrázek č. 4.6.1.1: Znáznornění napětí kompozitních fólií

4.7 Měření velikosti částic – Horiba

Tabulka č. 4.7.1: Statistické vyjádření měření velikosti částic

Velikost částic [μm]	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [μm]	Interval spolehlivosti [μm]
Len	63,02	78,22	105,85	(40,8 - 85,2)
Konopí	37,65	43,0381	114,38	(25,4 - 49,8)



Obrázek č. 4.7.1 Znáznornění velikosti částic

Variabilita velikosti částic je úměrná původu materiálu. Lýková vlákna jsou získávána z rostlin, které netvoří vždy stejné tvary a velikosti elementárních vláken. To může být způsobeno podmínkami při pěstování a také zpracováním.

5 Shrnutí a závěr

Při výrobě kompozitních fólií bylo třeba zajistit co možná nejmenší částice z důvodu následné vhodné kooperace s matricí. Tedy takové částice, které dokážeme na Univerzitní půdě zajistit. Mletí vláken probíhalo ve dvou krocích, nejdříve předemletí následně dokončovací mletí vláken. Dle přiložených fotografií z rastrového mikroskopu (Příloha č.3) můžeme vidět některá nedokonale namletá vlákna. Právě tyto částice vláken mohou způsobovat komplikace při výrobě v podobě blokace toku polymerní taveniny tryskou a vznik vad na folie (viz Obrázek č. č. 3.6.2.2). Zejména k tomuto jevu docházelo u matric, které mají vyšší viskozitu. Tedy koncentrace podílů složek a tvar částic v matrici má zásadní dopad na vyrobenou kompozitní folii.

Při testování mechanických vlastností na vyrobených fóliích bylo zjištěno, že použití plniv částic konopí a lnu společně se změkčovadlem vede zhruba k 20% snížení pevnosti v tahu oproti fóliím bez přidání změkčovadla. Všechny vyrobené folie ve srovnání s obalovým materiálem (kelímkem) mají řádově nižší pevnost v tahu, někdy i o 40 % pevnosti polypropylenového kelímku. Ohybová tuhost na vyrobených fóliích byla naměřena vždy řádově větší v porovnání s kelímkem.

Při měření termických vlastností vyrobených fólií a obalového materiálu (kelímku) bylo zjištěno, že žádná z vyrobených fólií není vhodná pro výrobu kelímku určených na teplé nápoje. Důvodem je nízká tepelná odolnost fólií, tedy nízká teplota skelného přechodu T_g . Nehovoříme zde o úplné destrukci materiálu v případě kontaktu horké kapaliny s materiálem, ale o přechodu do kaučukovitého stavu, tzn. pevnost a ohybová tuhost materiálu rapidně klesne. Tento fakt by mohl být značně nevhodný v případě dlouhodobého kontaktu horké kapaliny a materiálu, na který z vnější strany působíme silou, při držení rukou. Mohlo by dojít k deformaci kelímku a následnému opaření ruky. Pro použití při výrobě kelímků na studené nápoje jsou vyrobené folie vhodné. Tepelnou stálost, a tedy i možnost použití při vyšších teplotách, lze zajistit dokrystalizováním případně přidáním dalších aditiv.

Použití vyrobených fólií je různé, například jako jednorázový talíř, ale i ostatní jednorázový obalový materiál, který všichni v nynější době známe jako většinou bílý, polypropylenový, polystyrenový nebo polyethylentereflátový obal.

Recyklace vyrobeného obalového materiálu s kompozitních fólií uvedených v této bakalářské práci je vskutku jednoduchá. Obsažené složky jako kyselina polymléčná,

acetyltributylcitrát, vlákna lnu a konopí jsou na přírodní bázi, zajišťují tedy přírodní degradabilitu. Dle teoretického předpokladu se fólie s přidáním lněných nebo konopných vláken budou degradovat rychleji v porovnání s foliemi vyrobenými z PLA a změkčovadel. Není nutností zvláštní recyklace vzniklého odpadu jako u běžných plastových hmot vyrobených na ropné bázi, jelikož uvedené materiály jsou biodegradabilní.

Bylo by vhodné při další výrobě fólií s přidáním plniva lněných a konopných částic zajistit stejnoměrnou a co možná nejmenší velikost částic, například lze prodloužit proces mletí. To by mohlo eliminovat vady při protlačování taveniny tryskou a následnému zacpání trysky. Před výrobou by bylo vhodné uvažovat i nad lepší kompatibilitou částic s matricí, například aditivu pro povrchovou modifikaci částic.

6 Literatura

- [1] MOUČKOVÁ, Eva, Gabriela KRUPINCOVÁ a Petra JIRÁSKOVÁ. In: *Textilní technologie 1 [přednáška]*. 2016. vyd. B.m.: Technická univerzita v Liberci, 2016.
- [2] KALIA, Sascha a KAUR I. *Cellulose fibers: bio-and nano-polymer composites: green chemistry and technology*. Springer Science and Business Media. 2011.
- [3] DHAWAN, Andrew. *Synthesis of block copolymers from cellulose nanoparticles via atom transfer radical polymerization*. B.m.: Thesis North Carolina State University, 2007.
- [4] MILITKÝ, Jiří, TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, a TEXTILNÍ FAKULTA. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [5] BOERJAN, W, J RALPH a M BAUCHER. *Lignin biosynthesis. Annual Review of Plant Biology*. 1. vyd. nedatováno. ISBN 519–546.
- [6] DENNINGER, Fabia, Elke GIESE, Herbert OSTERTAG a Alfons HOFER, ed. *Textil- und Modelexikon. Bd. 2: L - Z*. 8., vollst. überarb. und erw. Aufl. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl, 2006. Edition Textil. ISBN 978-3-87150-848-6.
- [7] HLADÍK, Vladimír, Tomáš KOZEL a Zdeněk MIKLAS. *Textilní materiály*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, nedatováno. 1. ISBN 04-824-77.
- [8] MOJŽÍŠ, Bohumír. *Len, jeho historie, pěstování, zpracování a užití Brno*. Praha: SNTL- nakladatelství technické literatury, 1988. 1998.
- [9] DIEDERICHSEN, Axel. *Ex situ collections of cultivated flax (Linum usitatissimum L.) and other species of the genus Linum*. L. Genetic Resources and Crop Evolution: Labelo, 2007.
- [10] MOHANTY, Amar K., Manjusri MISRA a Lawrence T. DRZAL, ed. *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005. ISBN 978-0-8493-1741-5.
- [11] POSPÍŠIL A KOL. *Příručka textilního odborníka*. Praha: SNTL: Praha, 1981. ISBN 04-825-81.
- [12] Len setý - Linum usitatissimum. *SalviaParadise.cz* [online]. [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: https://www.salviaparadise.cz/herbar-rostlin-len-sety-linum-usitatissimum-c-736_813.html
- [13] VIELKIND, Jimmy. *Hemp Becomes Booming Crop for New York Farmers*. B.m.: CORTLAND, N.Y. 2019
- [14] ŠNOBL, Jakub. *Rostlinná výroba IV. (Chmel, len, konopí, využití biomasy k energetickým účelům)*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2004.
- [15] RUBIN, Vera. *Cannabis and Culture*. B.m.: Walter de Gruyter, 2003. ISBN 978-3-11-081206-0.

- [16] VÄISÄNEN, Taneli, Paolo BATELLO, Reijo LAPPALAINEN a Laura TOMPPU. Modification of hemp fibers (*Cannabis Sativa* L.) for composite applications. *Industrial Crops and Products* [online]. 2018, **111**, 422–429 [vid. 2020-12-02]. ISSN 0926-6690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2017.10.049
- [17] LANDA, Leoš a Jan JUŘICA. *Léčebné konopí v současné medicínské praxi*. 2020. ISBN 978-80-247-3967-0.
- [18] ALBERTS, Andrew a Philip MULLEN. *Psychoaktivní rostliny, houby a živočichové*. Praha: Svojtka, 2002.
- [19] White Gold: the true cost of cotton. *Environmental Justice Foundation, London, UK*. nedatováno, **2005**. ISSN I-904523-08-0.
- [20] GRAPKE, Mharty. Grand Soviet Scheme for Sharing Water in Central Asia Is Foundering. *New York*. 2002, (13), 1.
- [21] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 13432: *Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci*. Praha: Praha, nedatováno.
- [22] VAJHALA, Stanchiu a Reddy TUMMALA PAPI. *Critical Reviews in Biotechnology Cotton*. 2014
- [23] NICOLAIS, Luigi a Assunta BORZACCHIELLO, ed. *Wiley encyclopedia of composites*. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2012. ISBN 978-0-470-12828-2.
- [24] TOKIWA, Yutaka, Buenaventurada CALABIA, Charles UGWU a Seiichi AIBA. Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2009, **10**(9), 3722–3742 [vid. 2021-02-18]. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms10093722
- [25] HAIGLER, Candace H. Biotechnological improvement of cotton fibre maturity. *Physiologia Plantarum* [online]. 2005, **124**(3), 285–294 [vid. 2020-12-01]. ISSN 1399-3054. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00480.x
- [26] CHAMY, Rolando a Francisca ROSENKRANZ. *Biodegradation: life of science*. Croatia: Intech, 2013. ISBN 978-953-51-1154-2.
- [27] RUDNIK, Ewa. *Compostable polymer materials*. 1st ed. Oxford ; Boston: Elsevier, 2008. ISBN 978-0-08-045371-2.
- [28] ENDRES, Hans-Josef a Andrea SIEBERT-RATHS. *Engineering biopolymers: markets, manufacturing, properties, and applications*. Cincinnati: Hanser Publishers, 2011. ISBN 978-1-56990-461-9.
- [29] HU, Yunzi, Walid DAOUD, Kevin CHEUK a Carol LIN. Newly Developed Techniques on Polycondensation, Ring-Opening Polymerization and Polymer Modification: Focus on Poly(Lactic Acid). *Materials* [online]. 2016, **9**(3), 133 [vid. 2021-02-18]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma9030133

- [30] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 978-80-7080-568-8.
- [31] LAŠ, Vladislav, ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA, a FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD. *Mechanika kompozitních materiálů*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2008. ISBN 978-80-7043-689-9.
- [32] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [33] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 2002. ISBN 978-80-7204-248-7.
- [34] KAW, Autar K. *Mechanics of composite materials*. 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2006. Mechanical engineering, v. 29. ISBN 978-0-8493-1343-1.
- [35] NORMA ČSN 80 058. *Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií*. B.m.: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření. 1974
- [36] ŠESTÁK, Jaromír. *Měření termofyzikálních vlastností pevných látek. Teoretická termická analýza, ACADEMIA*. nedatováno.

Seznam příloh

Příloha č. 1: Měření ploch řezů konopných vláken – obrazová analýza	1
Příloha č. 2: Měření ploch řezů lněných vláken – obrazová analýza	5
Příloha č. 3: Fotografie namletých částic lnu a konopí	9
Příloha č. 4: Měření průměrů vláken – lanametr	15
Příloha č. 5: Měření ohybové tuhosti kompozitních fólií	23
Příloha č. 6: Měření pevnosti kompozitních fólií	27
Příloha č. 7: Měření velikosti částic	39

Seznam obrázků

Obrázek č. 2.1.2: Schéma rozdělení vláken podle původu	14
Obrázek č. 2.2. 2 Rozložení vláken v rostlině	16
Obrázek č. 2.3.2: Chemická struktura celulózy	17
Obrázek č. 2.3.2.1: Hemicelulóza	18
Obrázek č. 2.3.3.2: Základní jednotka ligninu	19
Obrázek č. 2.3.4.2: Chemická struktura pektinu	19
Obrázek č. 2.4.1.1.2: Molekuly enzymu vázající substrátu, tvorba meziprojektu	21
Obrázek č. 2.5.1 2: Len setý – <i>Linum usitatissimum</i>	23
Obrázek č. 2.6.1.1: Farma konopí setého	27
Obrázek č. 2.6.2.1.: Znázornění pěti složek v konopném stonku za použití průřezu stonku	27
Obrázek č. 2.6.5.3.1: Možnost využití rostliny konopí setého	30
Obrázek č. 2.7.1.1: Bavlna	31
Obrázek č. 2.8 2: Rozdělení biodegradabilních a nebiodegradabilních plastů	33
Obrázek č. 2.8.2: Rozdělení biodegradabilních polymerů podle původu	35
Obrázek č. 2.9.1: Strukturní vzorec PLA	35
Obrázek č. 2.9.2: Syntéza PLA z kyseliny mléčné	35
Obrázek č. 2.10.1.1: Znázornění výztuží vláknových kompozitů	37
Obrázek č. 3.3.3.1: Příprava vláken pro sejmutí řezu	40
Obrázek č. 3.3.3.2: Příprava vláken pro sejmutí řezu	41
Obrázek č. 3.3.3.3: Příprava vláken pro sejmutí řezu	41
Obrázek č. 3.3.3.4: Příprava preparátu pod obrazovou analýzu	42
Obrázek č.3.3.3.5: Obrazová analýza	42
Obrázek č. 3.3.2.1: Ultra odstředivý mlýn a jeho popis	44
Obrázek č. 3.3.2.2: Ultra odstředivý mlýn po operaci mletí, popis částí	45
Obrázek č. 3.3.2.3: Namleté částice s rozdílnou velikostí	46
Obrázek č. 3.3.2.4: Porovnání objemových poměrů vláken a předemletého materiálu	47
Obrázek č. 3.3.3.1: Planetový nanomlýn	47
Obrázek č. 3.3.3.2: Otevřený planetový nanomlýn	48
Obrázek č. 3.3.5.3: Objemové porovnání surových vláken vůči vláknům po operacích mletí	49
Obrázek č. 3.4.1.1: Masterbuch s přidáním konopných vláken. Čisté PLA masterbuch	50
Obrázek č. 3.4.1.2: Mikro kompondér	51
Obrázek č. 3.4.2.1. Mikro kompondér v procesu výroby folie	52
Obrázek č. 3.6.2.2: Fólie s procesní vadou	53
Obrázek č. 3.5.1.1: Lanometr na měření průměrů	54
Obrázek č. 3.5.2.1 Příprava jednotlivých vláken na trhací zkoušku.	53
Obrázek č. 3.5.2.2: Trhací stroj	53
Obrázek č. 3.5.2.3: Upevnění měřeného vzorku, popis hlavních částí trhačky	54
Obrázek č. 3.5.3.1: Schéma měřidla na ohybovou tuhost	55

<i>Obrázek č. 3.5.4.1: DSC přístroj na měření tepelných vlastností materiálů</i>	56
<i>Obrázek č. 3.5.5.1: Tloušťkoměr</i>	57
<i>Obrázek č. 3.5.6.1: Trhací stroj</i>	58
<i>Obrázek č. 4.1.1: Znázornění plochy řezů lnu a konopí</i>	59
<i>Obrázek č. 4.2.1: Znázornění průměrů vláken</i>	60
<i>Obrázek č. 4.2.1.1: Znázornění jemnosti vláken</i>	61
<i>Obrázek č. 4.3.1: Znázornění pevnosti vlákenných vzorků</i>	62
<i>Obrázek č. 4.4.1: Znázornění ohybových tuhostí měřených materiálů</i>	63
<i>Obrázek č. 4.4.2: Znázornění objemových hmotností měřených materiálů</i>	65
<i>Obrázek č. 4.5.1: DSC analýza PLA fólie a PLA fólie se změkčovadlem (10 % ATBC)</i>	66
<i>Obrázek č. 4.5.2: DSC analýza PLA + 5 hm % lnu a PLA fólie</i>	67
<i>Obrázek č. 4.5.3: DSC analýza PLA + 5 hm % konopí a PLA fólie</i>	67
<i>Obrázek č. 4.5.4: DSC analýza PLA + 10 % ATBC folie a folie 5 hm % lnu + 10 hm % ATBC</i>	68
<i>Obrázek č. 4.5.5: DSC analýza PLA + 10 hm % ATBC+ 5 hm % konopí fólie a fólie PLA + 10 hm % ATBC</i>	69
<i>Obrázek č. 4.5.6: DSC analýza běžně používaného kelímku na teplé a studené nápoje</i>	69
<i>Obrázek č. 4.6.1: Znázornění pevnosti kompozitních fólií</i>	70
<i>Obrázek č. 4.6.1.1: Znázornění napětí kompozitních fólií</i>	71
<i>Obrázek č. 4.7.1 Znázornění velikosti částic</i>	72
PŘÍLOHY	
<i>Obrázek č. 1.1: Histogram četnosti velikosti plochy řezů konopných vláken</i>	4
<i>Obrázek č. 2.1: Histogram četnosti velikosti plochy řezů lněných vláken</i>	8
<i>Obrázek č. 3.1: Částice konopí</i>	9
<i>Obrázek č. 3.2: Částice konopí</i>	10
<i>Obrázek č. 3.3: Částice konopí</i>	11
<i>Obrázek č. 3.4: Částice lnu</i>	12
<i>Obrázek č. 3.5: Částice lnu</i>	13
<i>Obrázek č. 3.6: Částice lnu</i>	14
<i>Obrázek č. 6.1: Tahové křivky vzorků kompozitní fólie – PLA</i>	27
<i>Obrázek č. 6.2: Tahové křivky vzorků kompozitní fólie PLA + 10 hm % ATBC.</i>	28
<i>Obrázek č. 6.3: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí</i>	29
<i>Obrázek č. 6.4: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 10 hm% ATBC + 5 hm % len</i>	30
<i>Obrázek č. 6.5: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 5 hm % len</i>	31
<i>Obrázek č. 6.6: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 5 hm % konopí</i>	32
<i>Obrázek č. 6.7: Tahové křivky zkoušených vzorků polypropylenového kelímku</i>	33
<i>Obrázek č. 7.1: Znázornění průměrů částic lnu</i>	34
<i>Obrázek č. 7.2: Znázornění průměrů částic konopí</i>	34

Seznam tabulek

Tabulka č. 2.1.3: Rozdělení přírodních vláken	12
Tabulka č. 2.1.4: Produkce lýkových vláken	13
Tabulka č. 2.3.2: Chemické procentuální složení rostlinných vláken	15
Tabulka č. 2.3.1.1.1: Přehled obsahu celulózy u lýkových vláken	16
Tabulka č. 2.6.3.1: Procentuální vyjádření složení konopného vlákna	26
Tabulka č. 4.1.1: Základní statistické vyjádření měření plochy řezů – konopí	59
Tabulka č. 4.2.1: Základní statistické vyjádření měření průměrů vláken	60
Tabulka č. 4.2.1.1: Základní statistické vyjádření jemnosti vláken pomocí Vzorce 8	61
Tabulka č. 4.3.1: Základní statistické vyjádření pevnosti lněných vláken	62
Tabulka č. 4.4.1: Statistické vyjádření měření ohybové tuhosti Mo [mN.cm] fólií	63
Tabulka č. 4.4.2: Statistika objemové hmotnosti	64
Tabulka č. 4.6.1: Základní statistické vyjádření pevnosti kompozitní folie – PLA	70
Tabulka č. 4.7.1: Statistické vyjádření měření velikosti částic	72
PŘÍLOHY	
Tabulka č. 1.1: Naměřené hodnoty řezů konopných vláken při obrazové analýze	1
Tabulka č. 2.1: Naměřené hodnoty řezů lněných vláken při obrazové analýze	5
Tabulka č. 4.1.: Naměřené průměry na lanametri	15
Tabulka č. 4.1.1: Vypočtené hodnoty jemnosti konopných vláken	16
Tabulka č. 4.2.1: – Vypočtené hodnoty jemnosti lněných vláken	19
Tabulka č. 5.1, Tabulka č. 5.2: Naměřené hodnoty kompozitních fólií	23
Tabulka č. 5.3, Tabulka č. 5.5.4: Naměřené hodnoty kompozitních fólií	24
Tabulka č. 5.5, Tabulka č. 5.6: Naměřené hodnoty kompozitních fólií	25
Tabulka č. 5.7, Tabulka č. 5.8: Naměřené hodnoty kompozitních fólií	26
Tabulka č. 6.1: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie– PLA	27
Tabulka č. 6.2: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie– PLA + 10 hm % ATBC	28
Tabulka č. 6.3: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie– PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí	29
Tabulka č. 6.4: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie - PLA + 10 hm% ATBC + 5 hm % len	30
Tabulka č. 6.5: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie– PLA+ 5 hm % len	31
Tabulka č. 6.6: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie- PLA + 5 hm % konopí	32
Tabulka č. 6.7: Naměřené hodnoty pevnosti polypropylenového kelímku	33

Přílohy

Příloha č.1: Měření ploch řezů konopných vláken – obrazová analýza.

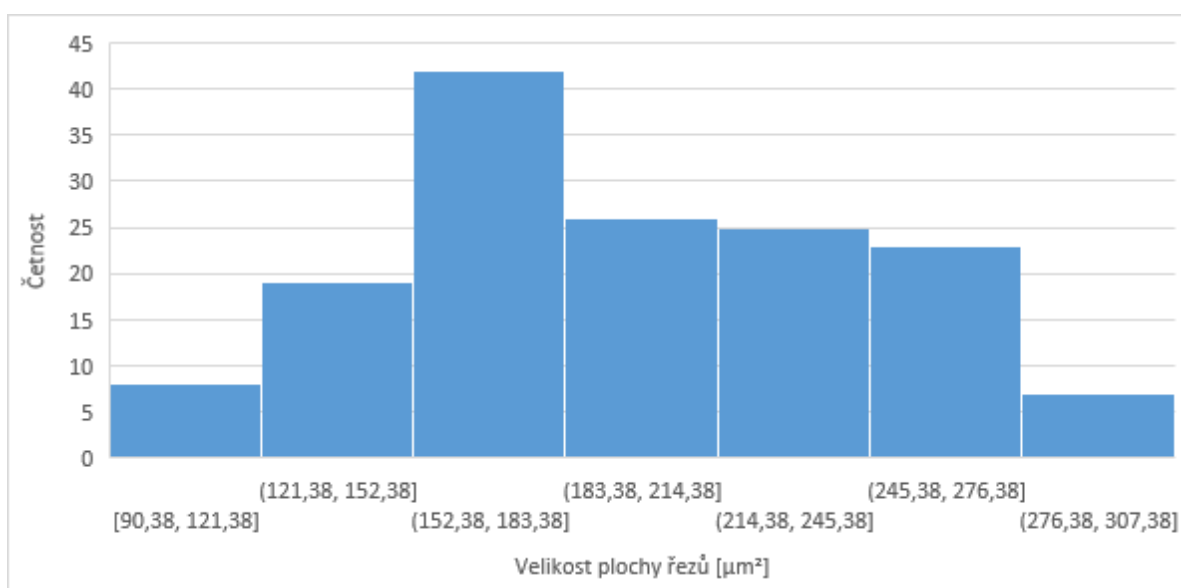
Tabulka č. 1.1: Naměřené hodnoty řezů konopných vláken při obrazové analýze

	Plocha [μm^2]	Ekv. průměr [μm]	Min. průmět [μm]	Max. průmět [μm]	Obvod [μm]
1	90,38	10,73	10,22	15,49	39,29
2	91,1	10,77	6,99	24,73	52,21
3	92,32	10,84	9,17	15,01	39,06
4	95,89	11,05	10,24	16,75	41
5	106,3	11,63	10,91	16,45	42,66
6	115,91	12,15	8,84	20,65	49,73
7	118,38	12,28	9,82	19,92	52,66
8	119,45	12,33	11,98	14,86	42,39
9	121,63	12,44	12,14	15,52	43,05
10	121,93	12,46	8,95	17,76	45,86
11	132,49	12,99	12,44	17,26	47,21
12	135,82	13,15	12,18	16,25	44,63
13	136,05	13,16	11,25	17,54	47,29
14	138,68	13,29	11,44	18,73	50,5
15	138,7	13,29	13,51	18,09	49,94
16	140,95	13,4	10,94	18,26	51,5
17	141,29	13,41	10,82	22,54	53,53
18	143,15	13,5	12,2	24,93	65,8
19	143,77	13,53	10,92	18,05	48,94
20	143,94	13,54	11,24	18,19	47,57
21	144,58	13,57	12,57	16,13	46,74
22	146,53	13,66	13,28	17,9	49,72
23	148,61	13,76	12,88	18,72	49,98
24	148,95	13,77	12,08	22,29	56,07
25	149,02	13,77	13,01	18,77	49,36
26	151,64	13,89	15,08	19,04	51,24
27	152,26	13,92	9,29	21,33	53,08
28	154,59	14,03	13,24	18,12	51,42
29	157,21	14,15	12,44	20,58	50,98
30	157,48	14,16	12,3	19,03	48,89
31	159,58	14,25	13,23	20,79	51,87
32	159,83	14,27	11,98	20,66	52,55
33	160,1	14,28	9,66	23,04	54,85
34	160,64	14,3	14,1	23,62	59,05
35	160,85	14,31	13,96	19,14	50,23
36	161,04	14,32	10,12	22,28	52,8
37	161,44	14,34	14,42	18,8	54,23
38	163,26	14,42	12,29	18,49	51,05
39	163,59	14,43	12,72	18,57	49,51
40	164,6	14,48	13,53	18,66	53,61

41	164,74	14,48	10,5	23,08	58,41
42	164,8	14,49	11,25	19,73	52,65
43	165,74	14,53	14,1	18,32	52,33
44	166,01	14,54	11,61	19,83	54,21
45	167,22	14,59	11,19	22,38	52,77
46	167,76	14,61	12,17	19,81	51,56
47	169,57	14,69	12,41	20,98	55,86
48	169,71	14,7	14,42	18,91	53,46
49	169,77	14,7	12	20,57	53,56
50	170,31	14,73	11,64	21,8	56,59
51	170,38	14,73	12,32	21,3	53,22
52	170,45	14,73	14,62	16,79	48,79
53	171,19	14,76	13,68	19,81	53,97
54	171,61	14,78	10,14	23,67	59,97
55	173,34	14,86	13,75	21,73	62,14
56	174,81	14,92	13,36	21,76	53,24
57	175,42	14,94	9,4	23,92	62,71
58	175,49	14,95	11,41	22,37	55,73
59	175,62	14,95	9,6	26,76	61,46
60	176,34	14,98	14,43	19,67	56,13
61	176,43	14,99	14,26	21,41	55,68
62	176,63	15	13,38	18,64	49,86
63	177,3	15,02	13,35	22,55	54,37
64	178,31	15,07	13,89	21,49	55,27
65	180,32	15,15	11,37	22,49	57,64
66	180,59	15,16	13,22	19,8	51,69
67	181,13	15,19	13,96	20,66	57,98
68	181,13	15,19	13,18	23,04	55,94
69	181,52	15,2	15,95	20,47	57,19
70	184,22	15,32	13,65	22,32	58,66
71	184,35	15,32	13,54	21,03	58,01
72	187,04	15,43	10,97	25,48	59,67
73	187,85	15,47	13,66	20,77	53,94
74	189,12	15,52	12,91	22,41	56,19
75	189,39	15,53	14,57	21,46	56,21
76	190,27	15,56	10,22	25,84	63,09
77	191,41	15,61	14,5	23,12	61,9
78	191,74	15,62	14,25	19,95	54,59
79	193,29	15,69	12,54	20,64	56,27
80	196,17	15,8	13,08	23,23	64,31
81	197,39	15,85	12,04	23,78	59,2
82	198,19	15,89	11,49	27,71	70,03

83	200,84	15,99	14,19	19,34	59,82
84	203,9	16,11	12,37	21,66	57,22
85	205,99	16,19	14,16	22,96	58,36
86	206,15	16,2	11,12	24,34	60,07
87	207,3	16,25	14,3	22,03	56,7
88	208,27	16,28	16,44	21,26	59,04
89	208,41	16,29	14,88	23,1	60,43
90	210,89	16,39	12,87	22,82	58,64
91	211,09	16,39	14,03	20,28	56,82
92	211,16	16,4	15,19	22,82	59,37
93	211,23	16,4	12,42	23,12	58,53
94	212,62	16,45	15,4	23,76	70,51
95	213,85	16,5	13,11	28,06	69,08
96	214,79	16,54	13,95	22,94	58,65
97	216	16,58	13,45	24,8	60,9
98	216	16,58	15,49	23,39	60,42
99	216	16,58	13,81	22,74	57,3
100	217,14	16,63	13,36	22,04	57,91
101	219,42	16,71	12,01	26,59	66,35
102	219,56	16,72	16,04	21,17	59,16
103	220,2	16,74	9,95	28,86	68,17
104	221,03	16,78	9,6	33,19	75,4
105	221,23	16,78	13,34	25,08	64,6
106	223,12	16,85	13,18	24,47	60,62
107	223,32	16,86	14	23,71	60,54
108	224,93	16,92	14,39	21,07	58,85
109	225,4	16,94	16,95	24,06	64,35
110	227,82	17,03	10,53	35,16	83,74
111	228,12	17,04	12,45	25,21	64,64
112	228,49	17,06	14,01	25,93	61,89
113	229,17	17,08	16,66	21,85	60,12
114	234,58	17,28	16,8	27,03	68,87
115	235,41	17,31	12,61	24,76	67,37
116	235,82	17,33	13,72	24,94	64,53
117	238,91	17,44	11,42	27,57	67,28
118	239,58	17,47	12,71	27,97	77,34
119	240,32	17,49	13,84	25,48	64,6
120	244,69	17,65	13,32	26,37	66,86
121	247,17	17,74	13,67	27,66	72,21
122	247,33	17,75	16,98	23,9	62,95
123	247,84	17,76	14,09	26,39	64,64

124	248,04	17,77	13,69	28,4	68,64
125	249,13	17,81	15,69	24,1	63,77
126	249,46	17,82	15,7	21,58	60,77
127	250,02	17,84	12,72	32,7	71,52
128	250,06	17,84	16,34	21,94	60,3
129	250,87	17,87	12,23	29,25	73,81
130	250,93	17,87	11,62	31,15	72,1
131	253,66	17,97	14,72	23,84	63,29
132	253,69	17,97	16,42	26,34	74,11
133	253,89	17,98	16,28	25,76	67,47
134	253,98	17,98	16,95	28,01	69,69
135	254,63	18,01	17,13	23,71	66,07
136	254,9	18,02	16,11	24,91	62,68
137	256,38	18,07	16,1	25,5	67,52
138	256,91	18,09	16,23	25,43	66,44
139	256,91	18,09	17,96	21,61	66,95
140	256,98	18,09	16,62	25,82	67,78
141	258,18	18,13	16,94	22,61	63,86
142	266,12	18,41	19,24	24,74	70,68
143	270,95	18,57	13,31	26,03	69,01
144	277,91	18,81	14,5	28,61	74,49
145	278,48	18,83	16,81	25,25	66,06
146	282,98	18,98	19,83	26,07	71,02
147	286,3	19,09	15,52	27,03	77,11
148	286,54	19,1	14,05	27,14	73,47
149	298,7	19,5	17,72	24,7	66,14
150	299,37	19,52	18,02	27,95	75,51



Obrázek č. 1.1: Histogram četnosti velikosti plochy řezů konopných vláken

Příloha č.2: Měření ploch řezů lněných vláken – obrazová analýza.

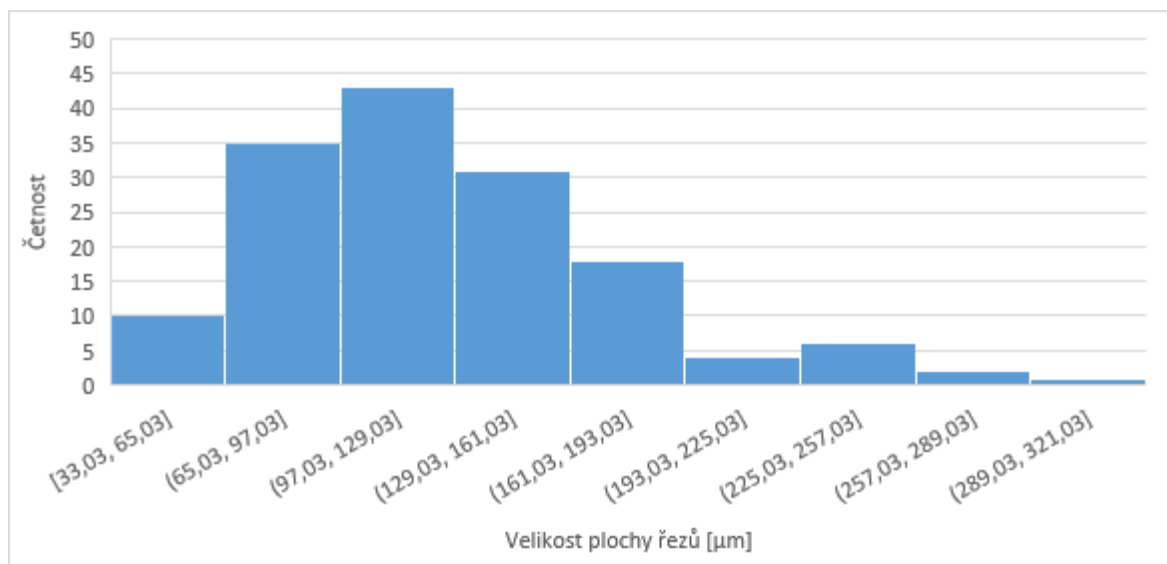
Tabulka č. 2.1: Naměřené hodnoty řezů lněných vláken při obrazové analýze

	Plocha [μm^2]	Ekv. průměr [μm]	Min. průmět [μm]	Max. průmět [μm]	Obvod [μm]
1	242,4	17,57	15,98	22,92	60,83
2	212,44	16,45	14,24	23,3	57,35
3	118,71	12,29	10,2	17,4	44,46
4	175,42	14,94	12,44	20,19	52,11
5	214,31	16,52	15,52	20,11	62,35
6	109,78	11,82	10,57	17,1	50,41
7	138,63	13,29	11,04	17,81	46,04
8	150,22	13,83	12,26	16,49	46,93
9	149,41	13,79	11,07	20,65	57,53
10	154,44	14,02	11,85	18,63	58,26
11	178,02	15,06	15,48	19,56	68,11
12	168,27	14,64	14,56	17,32	59,47
13	85,86	10,46	8,51	13,63	37,73
14	161,11	14,32	11,47	21,77	57,15
15	122,75	12,5	11,42	21,84	52,59
16	125,03	12,62	11,86	18,6	50,05
17	120,26	12,37	9,64	19,28	47,58
18	144,45	13,56	12,35	17,44	46,16
19	161,98	14,36	14,14	17,04	51,27
20	237,83	17,4	13,23	25,22	62,94
21	154,85	14,04	14,23	20,4	56,18
22	162,25	14,37	11,58	18,02	48,99
23	118,51	12,28	10,74	16,34	45,72
24	100,51	11,31	10,08	15,48	42,19
25	146,93	13,68	12,61	19,73	51,26
26	131,01	12,92	11,2	20,84	48,09
27	95,39	11,02	10,51	18,25	45,42
28	140,68	13,38	10,65	17,43	47,46
29	117,91	12,25	11,14	18,79	50,24
30	108,03	11,73	10	17,7	43,7
31	103,6	11,49	10,5	18,16	42,88
32	96,07	11,06	10,8	17,98	45,92
33	155,8	14,08	13,93	17,1	49,19
34	201,61	16,02	16,2	20,74	57,28
35	170,14	14,72	12,04	18,44	72,13
36	284,08	19,02	17,68	21,31	109,21
37	147,78	13,72	12,8	17,54	51,78
38	228,57	17,06	13,2	24,91	75,5
39	164,29	14,46	12,38	18,7	54,02
40	189,54	15,53	16,29	17,54	67,83

41	124,07	12,57	10,53	19,53	57,28
42	171,85	14,79	13,83	17,52	56,74
43	161,73	14,35	13,05	17,78	78,66
44	228,65	17,06	16,22	19,62	83,38
45	168,9	14,66	13,64	17,54	77,87
46	103,81	11,5	8,85	15,35	87,99
47	120,1	12,37	11,06	14,45	73,09
48	121,14	12,42	11,81	15,03	72,26
49	169,37	14,68	11,74	18,84	63,73
50	293,86	19,34	15,85	23,85	108,52
51	257,3	18,1	15,91	23,42	92,22
52	184,09	15,31	14,86	18,7	90,17
53	121,28	12,43	11,82	15,93	61,75
54	140,13	13,36	12,45	15,67	68,83
55	80,44	10,12	8,76	12,34	48,54
56	145,33	13,6	12,7	16,94	78,24
57	60,49	8,78	8,31	11,28	41,02
58	139,96	13,35	12,53	15,55	53,8
59	109,06	11,78	10,61	14,45	42,96
60	89,34	10,67	9,06	13,74	47,43
61	109,05	11,78	12,14	13,63	47,03
62	112,23	11,95	11,65	14,15	77,15
63	157,77	14,17	12,14	19,15	54,03
64	95,02	11	8,17	14,71	55,97
65	88,87	10,64	8,99	13,94	54,41
66	81,44	10,18	9,96	13,38	52,99
67	86,08	10,47	9,58	14,47	57,78
68	84,7	10,39	9,01	13,24	45,08
69	106,27	11,63	9,84	16,52	53,55
70	219,58	16,72	12,92	22,68	94,92
71	146,79	13,67	13,02	17,14	64,03
72	250,49	17,86	18,43	21,75	91,87
73	125,48	12,64	11,27	16,91	70,61
74	114,91	12,1	11,06	15,01	64,37
75	124,58	12,59	9,71	18,34	66,72
76	124,36	12,58	10,51	18,93	70,13
77	128,76	12,8	13,3	15,18	51,06
78	116,62	12,19	10,53	15,78	58,57
79	89,59	10,68	9,8	12,56	42,2
80	98,94	11,22	9,77	15,01	57,73
81	85,37	10,43	9,22	14,13	38,07
82	60,44	8,77	7,79	12,03	32,99

83	83,5	10,31	8,15	13,69	45,28
84	79,22	10,04	10,09	11,58	52,11
85	79,38	10,05	7,84	13,69	52,9
86	83,19	10,29	7,69	16,75	63,59
87	133,82	13,05	11,87	15,46	70,94
88	48,15	7,83	6,45	10,41	41,98
89	33,03	6,49	3,87	11,54	59,91
90	66,37	9,19	7,75	11,33	67,06
91	90,26	10,72	8,67	15,05	63,4
92	101,73	11,38	10,8	14,61	52,76
93	166,15	14,54	14,01	16	67,11
94	251,67	17,9	15,97	21,83	89,25
95	172,35	14,81	12,87	18,25	75,08
96	179,2	15,1	13,64	17,64	87,79
97	171,85	14,79	14,19	16,43	85,91
98	147,55	13,71	12,62	16,24	78,14
99	139,72	13,34	13,19	14,72	71,62
100	86,18	10,47	10,07	12,24	48,94
101	107,09	11,68	10,25	15,27	83,12
102	77,25	9,92	8,74	13,38	52,49
103	93,91	10,93	9,95	14,93	65,16
104	128,81	12,81	10,32	16,99	82,92
105	121,5	12,44	9,97	17,1	54,17
106	132,24	12,98	11,64	16,64	72,85
107	128,05	12,77	12,31	14,75	80,75
108	73,85	9,7	6,64	14,7	50,23
109	104,1	11,51	10,89	12,88	68,4
110	129,8	12,86	11,98	16,31	77,49
111	114,52	12,08	10,24	16,66	81,7
112	108,24	11,74	11,24	15,01	82,87
113	76,73	9,88	7,25	14,8	64,2
114	86,31	10,48	8,48	13,72	52,45
115	115,22	12,11	10,2	16,09	72,44
116	131,38	12,93	10,95	16,78	78,65
117	84,89	10,4	8,81	14,35	69,05
118	148,7	13,76	10,79	19,07	72,04
119	158,81	14,22	11,98	19,62	88,75
120	132,39	12,98	10,14	16,69	82,67
121	108,5	11,75	11,29	13,56	70,11
122	124,22	12,58	10,88	15,71	83,7
123	81,64	10,2	9,04	12,21	66,09
124	98,47	11,2	9,56	15,96	66,24

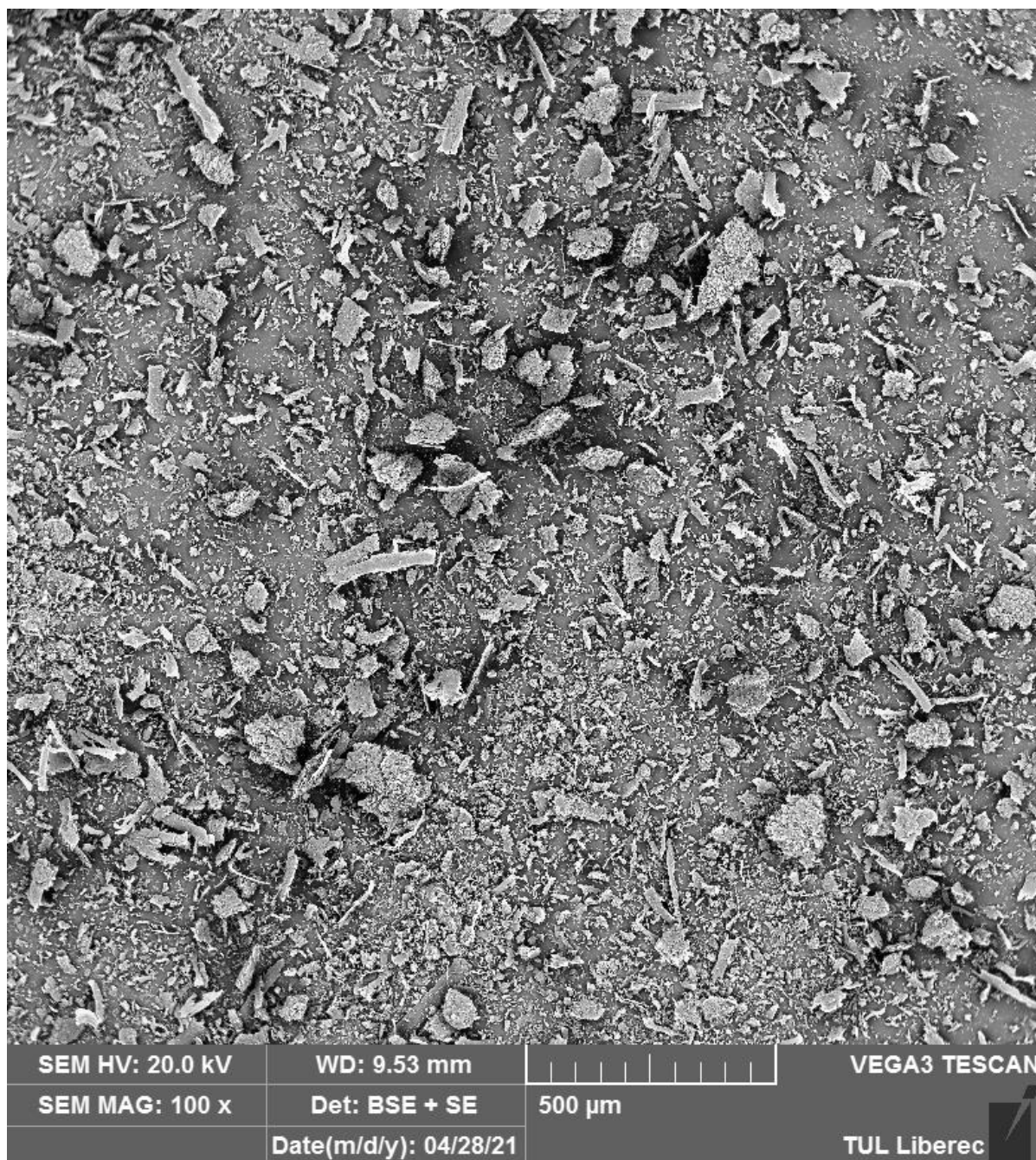
125	99,62	11,26	7,93	15,83	64,25
126	103,26	11,47	11,04	16,23	74,32
127	83,9	10,34	9,21	13,31	58,16
128	79,2	10,04	7,19	14,04	64,81
129	81,32	10,18	9,71	13,08	71,77
130	140,18	13,36	11	16,9	69,87
131	98,92	11,22	10,58	14,58	59,36
132	135,67	13,14	11,68	16,71	59,59
133	73,16	9,65	8,37	12,46	53,12
134	73,01	9,64	9,1	12,51	58,62
135	132,14	12,97	11,94	15,96	84,16
136	105,62	11,6	10,51	15,03	67,17
137	81,42	10,18	9,37	14,52	66,74
138	65,33	9,12	9,2	12,81	46,31
139	129,21	12,83	11,49	15,85	69,45
140	131,41	12,93	12,6	14,78	67,55
141	64,87	9,09	8,96	13,6	49,78
142	144,99	13,59	10,8	18,2	63,33
143	118,46	12,28	11,6	16,37	71,68
144	95,15	11,01	8,9	14,12	80,61
145	62,37	8,91	7,19	11,23	48,29
146	85,29	10,42	8,57	13,89	69,91
147	64,96	9,09	9,15	12,51	57,84
148	57,34	8,54	8,28	11,3	55,01
149	64,2	9,04	7,67	14,05	75,97
150	51,62	8,11	7,37	10,39	44,38



Obrázek č. 2.1: Histogram četnosti velikosti plochy řezů lněných vláken

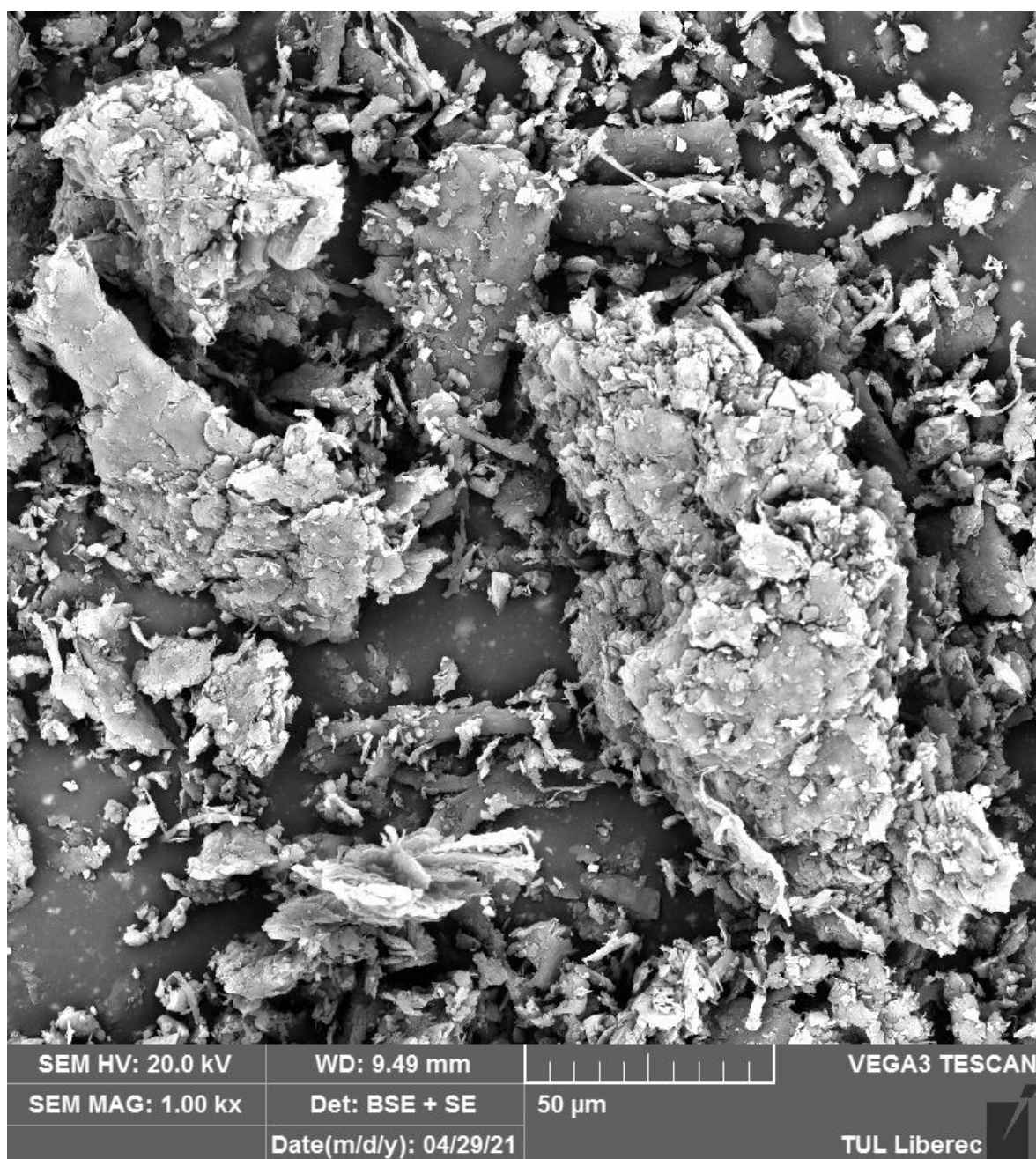
Příloha č.3: Fotografie namletých částic lnu a konopí.

Fotografie namletých částic konopí v měřítku 500 um.



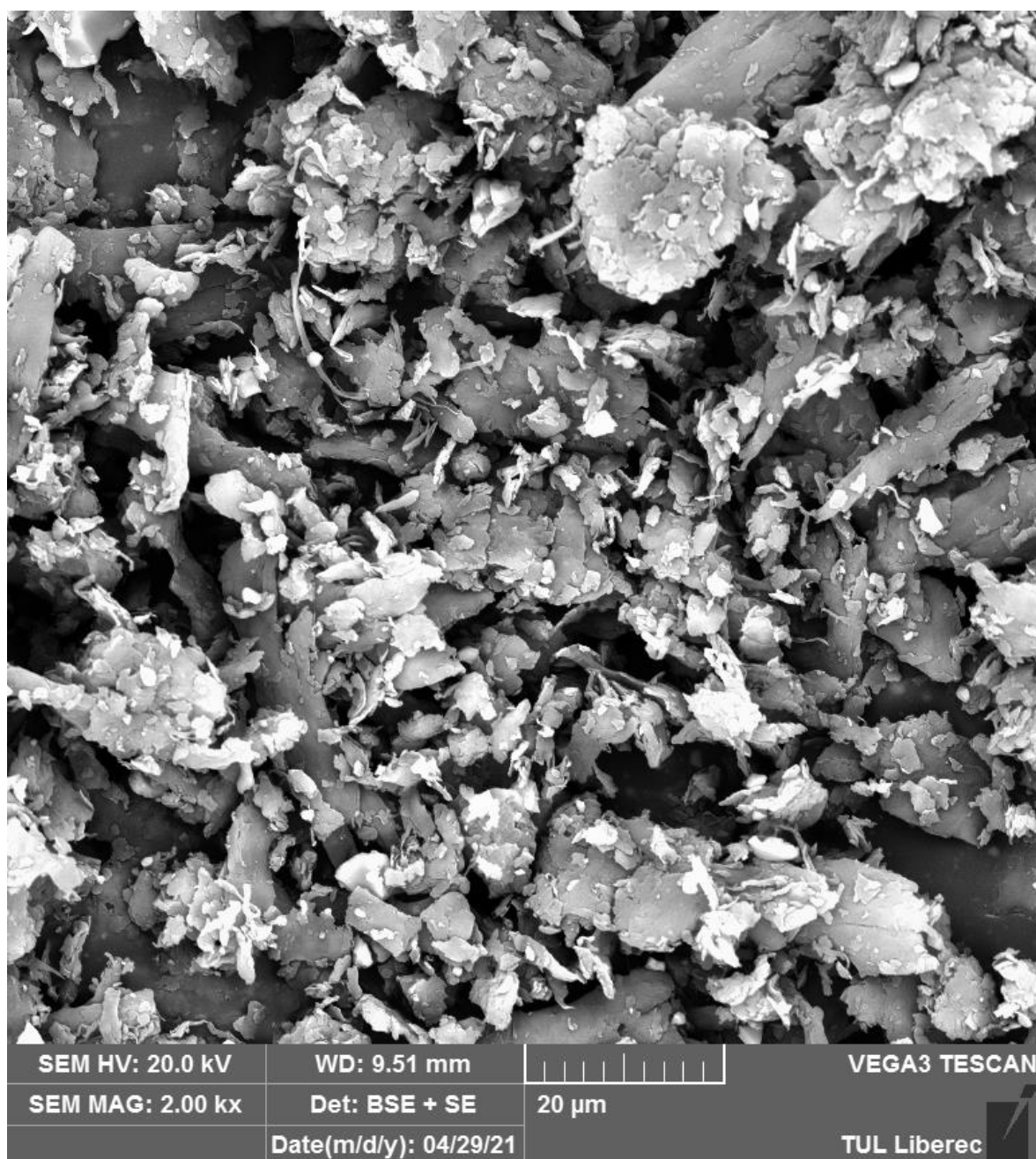
Obrázek č. 3.1: Částice konopí

Fotografie namletých částic v měřítku 50 μm .



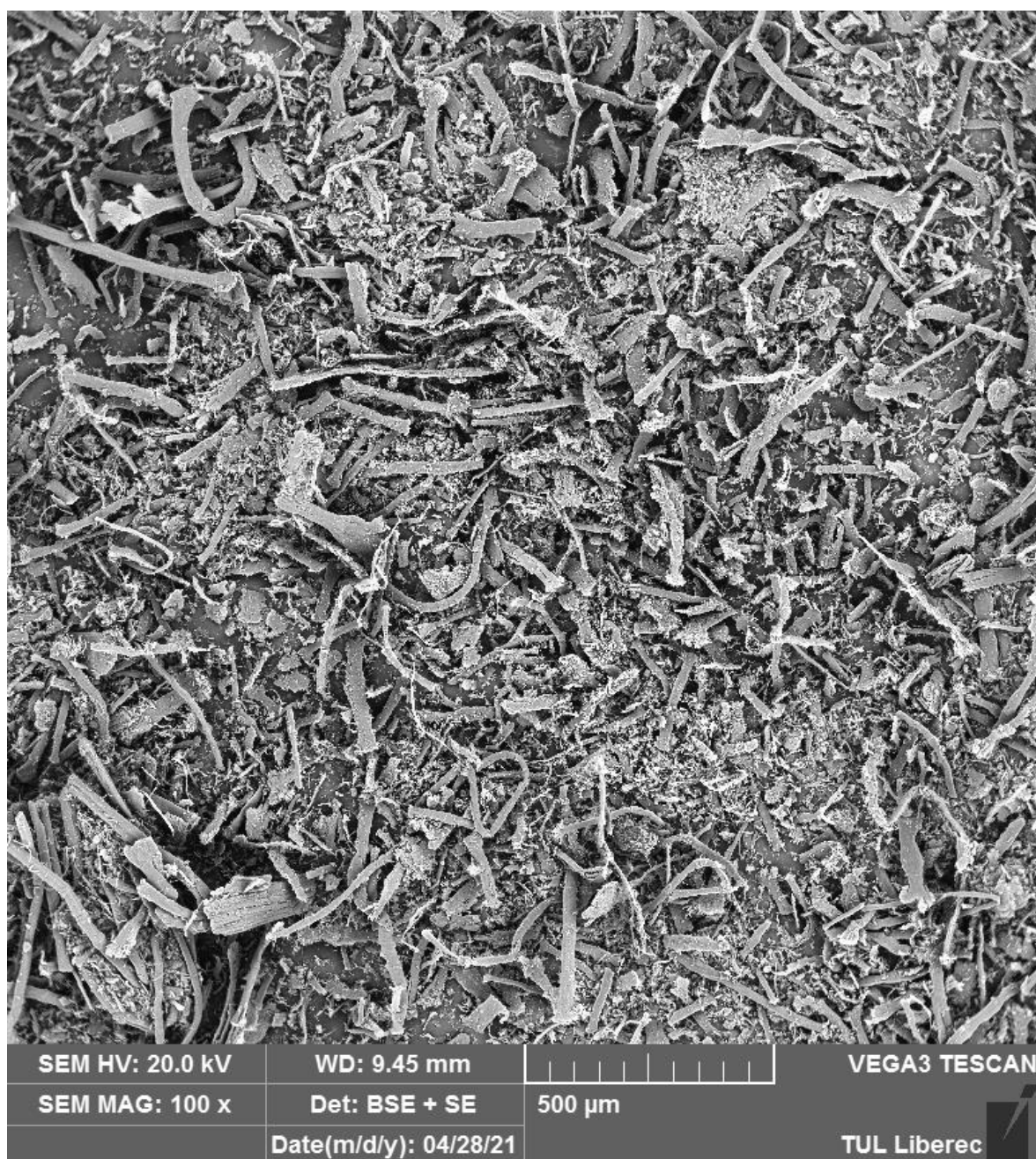
Obrázek č. 3.2: Částice konopí.

Fotografie namletých částic konopí v měřítku 20 μm .



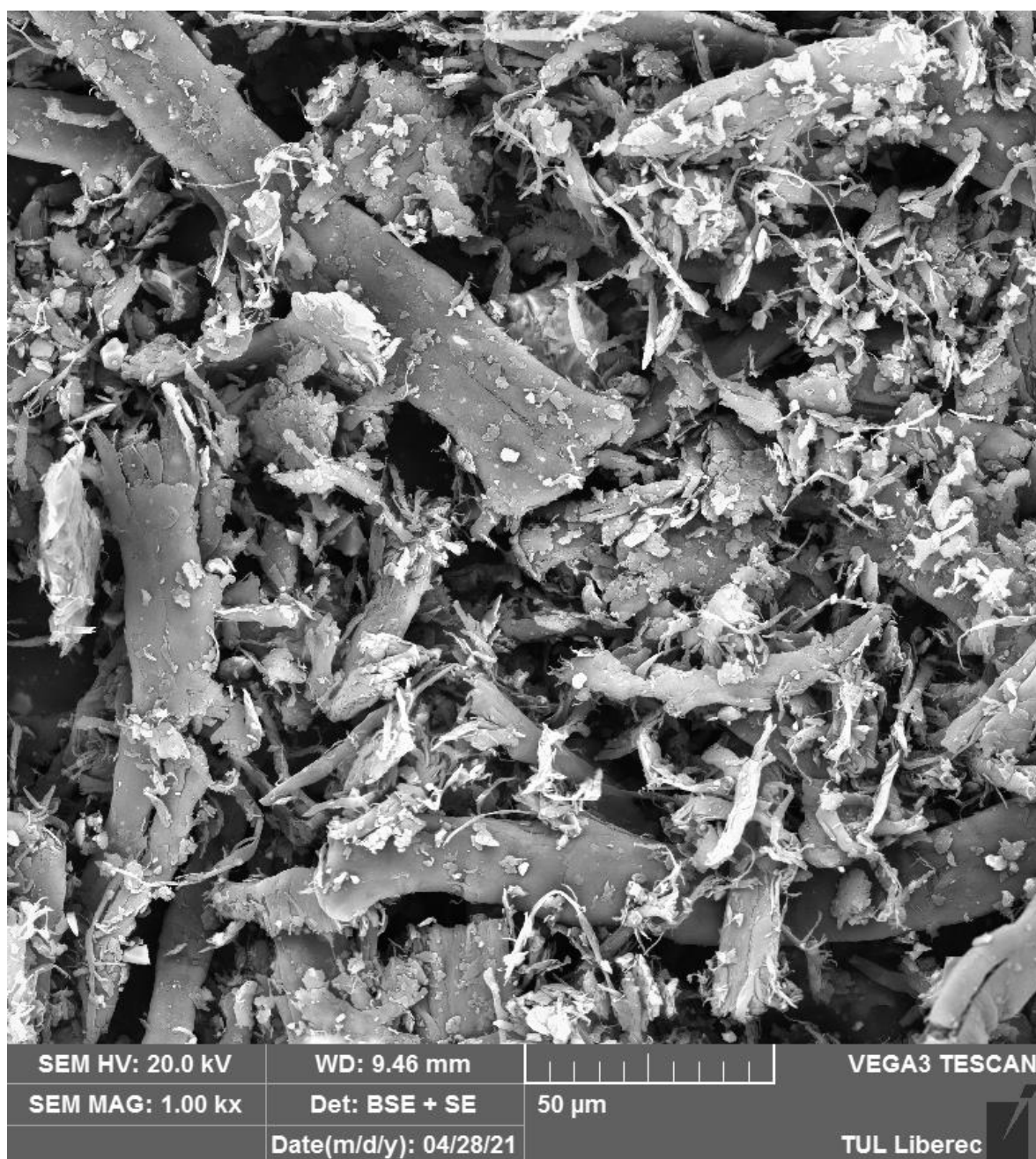
Obrázek č. 3.3: Částice konopí

Fotografie namletých částic lnu v měřítku 500 um.



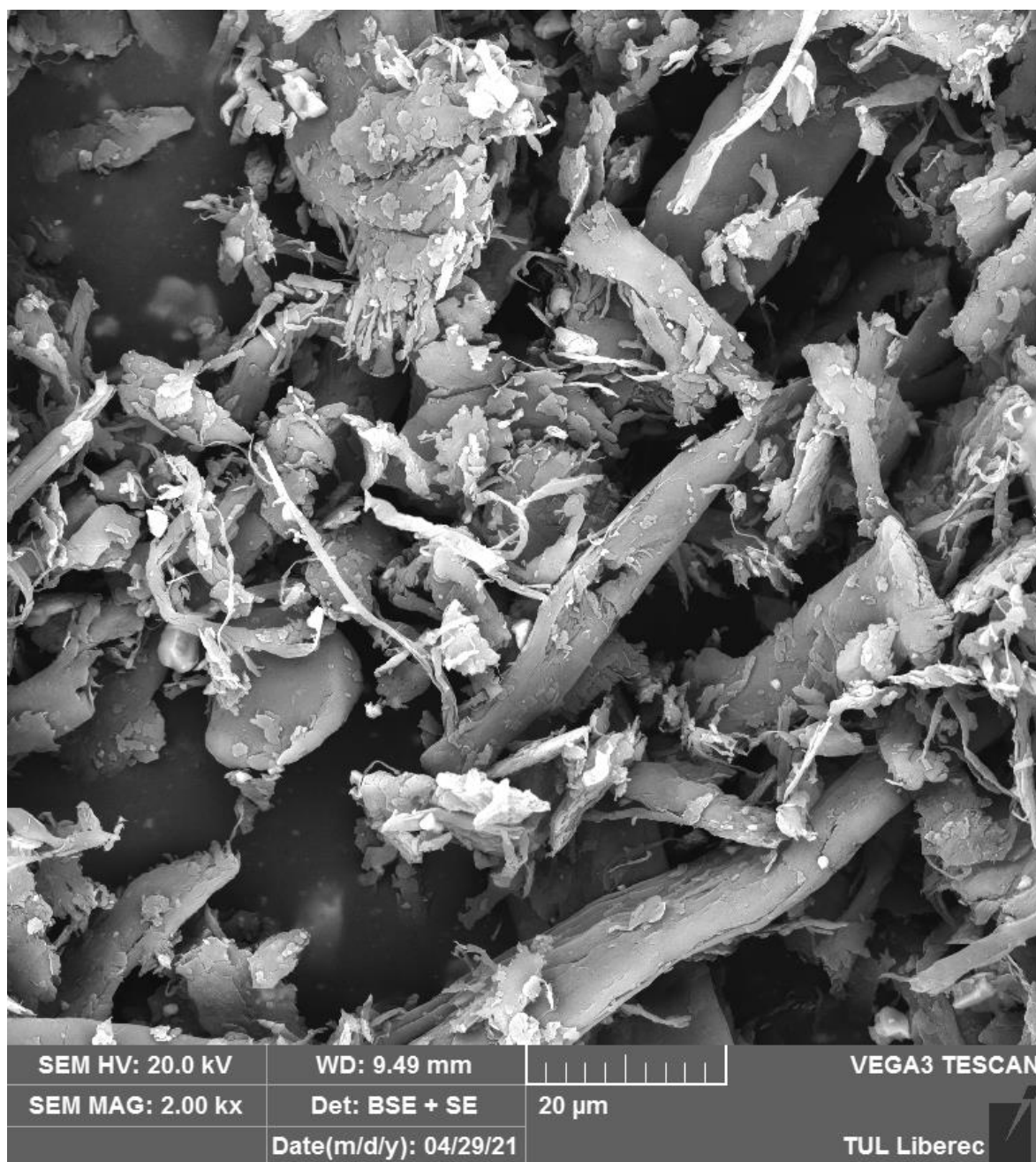
Obrázek č. 3.4: Částice lnu

Fotografie namletých částic lnu v měřítku 50 μm .



Obrázek č. 3.5: Částice lnu

Fotografie namletých částic lnu v měřítku 20um.



Obrázek č. 3.6: Částice lnu

Příloha č.4: Měření průměrů vláken – lanametr

Tabulka č. 4.1: Naměřené průměry na lanametr

	Len	Konopí
	Naměřený průměr [um]	Naměřený průměr [um]
1	65	179,3
2	38	127
3	58	192
4	48,5	121,5
5	53	170
6	54	185
7	30,5	209,5
8	26,5	110
9	37	215
10	35	85
11	66,5	140
12	32,5	155
13	59,5	185
14	34	205
15	36	174
16	33	148
17	30	152
18	29,5	206
19	37	185
20	30	175
21	38	160
22	42	240
23	24	160
24	36,5	217
25	38	145
26	47,5	100
27	25	135
28	17	225
29	25	155
30	30	205
31	40	207
32	33	155
33	61	205
34	67	175
35	42	190
36	45	145
37	31	107
38	55	140
39	28,5	212
40	41,5	170
41	29	180
42	40	206
43	25,5	185
44	57,5	206
45	31	145
46	36	110
47	37	107
48	29	161
49	32	142
50	35	175

Příloha č.4.1: Zpřesnění jemnosti vláken – konopí

Tabulka č. 4.1.1: Vypočtené hodnoty jemnosti konopných vláken

	Odhad jemnosti [tex]	Jemnost pomocí predikce kruhových vláken [tex]	Korekční faktor K [-]	Zpřesnění jemnosti [tex]
	T1	T2	K	T1i
1	0,134	0,279	0,480	0,139
2	0,135	0,711	0,190	0,354
3	0,137	0,262	0,522	0,130
4	0,142	0,326	0,435	0,162
5	0,157	0,315	0,500	0,157
6	0,172	0,496	0,346	0,247
7	0,175	0,461	0,380	0,230
8	0,177	0,257	0,689	0,128
9	0,180	0,280	0,643	0,139
10	0,180	0,367	0,492	0,182
11	0,196	0,346	0,566	0,172
12	0,201	0,307	0,655	0,153
13	0,201	0,358	0,563	0,178
14	0,205	0,408	0,503	0,203
15	0,205	0,380	0,540	0,189
16	0,209	0,388	0,538	0,193
17	0,209	0,591	0,354	0,294
18	0,212	0,722	0,293	0,360
19	0,213	0,379	0,562	0,188
20	0,213	0,385	0,554	0,191
21	0,214	0,302	0,708	0,151
22	0,217	0,372	0,582	0,185
23	0,220	0,407	0,540	0,203
24	0,220	0,578	0,382	0,287
25	0,221	0,410	0,539	0,204
26	0,224	0,421	0,533	0,210
27	0,225	0,529	0,426	0,263
28	0,229	0,382	0,599	0,190
29	0,233	0,492	0,473	0,245
30	0,233	0,421	0,554	0,210
31	0,236	0,502	0,470	0,250
32	0,237	0,496	0,477	0,247
33	0,237	0,617	0,384	0,307
34	0,238	0,649	0,367	0,323
35	0,238	0,426	0,559	0,212
36	0,238	0,577	0,413	0,287
37	0,239	0,411	0,582	0,204
38	0,242	0,397	0,608	0,198
39	0,242	0,401	0,604	0,200

40	0,244	0,405	0,602	0,201
41	0,244	0,619	0,394	0,308
42	0,244	0,452	0,539	0,225
43	0,245	0,390	0,629	0,194
44	0,246	0,457	0,538	0,227
45	0,247	0,582	0,425	0,290
46	0,248	0,456	0,544	0,227
47	0,251	0,512	0,491	0,255
48	0,251	0,416	0,604	0,207
49	0,251	0,492	0,511	0,245
50	0,252	0,552	0,456	0,275
51	0,252	0,527	0,478	0,262
52	0,252	0,328	0,770	0,163
53	0,253	0,456	0,555	0,227
54	0,254	0,651	0,390	0,324
55	0,257	0,549	0,467	0,273
56	0,259	0,550	0,470	0,274
57	0,260	0,665	0,390	0,331
58	0,260	0,582	0,447	0,290
59	0,260	0,832	0,312	0,414
60	0,261	0,450	0,580	0,224
61	0,261	0,533	0,490	0,265
62	0,261	0,404	0,647	0,201
63	0,262	0,591	0,444	0,294
64	0,264	0,537	0,492	0,267
65	0,267	0,588	0,454	0,293
66	0,267	0,456	0,587	0,227
67	0,268	0,496	0,540	0,247
68	0,268	0,617	0,434	0,307
69	0,269	0,487	0,552	0,242
70	0,273	0,579	0,471	0,288
71	0,273	0,514	0,531	0,256
72	0,277	0,755	0,367	0,376
73	0,278	0,501	0,554	0,250
74	0,280	0,584	0,479	0,291
75	0,280	0,535	0,524	0,266
76	0,282	0,776	0,363	0,386
77	0,283	0,621	0,456	0,309
78	0,284	0,463	0,613	0,230
79	0,286	0,495	0,578	0,246
80	0,290	0,627	0,463	0,312
81	0,292	0,657	0,444	0,327
82	0,293	0,893	0,329	0,444
83	0,297	0,435	0,684	0,216
84	0,302	0,545	0,553	0,271
85	0,305	0,613	0,498	0,305

86	0,305	0,689	0,443	0,343
87	0,307	0,564	0,544	0,281
88	0,308	0,525	0,587	0,261
89	0,308	0,620	0,497	0,309
90	0,312	0,605	0,516	0,301
91	0,312	0,478	0,653	0,238
92	0,313	0,605	0,516	0,301
93	0,313	0,621	0,503	0,309
94	0,315	0,656	0,480	0,327
95	0,316	0,915	0,346	0,456
96	0,318	0,612	0,520	0,304
97	0,320	0,715	0,447	0,356
98	0,320	0,636	0,503	0,317
99	0,320	0,601	0,532	0,299
100	0,321	0,565	0,569	0,281
101	0,325	0,822	0,395	0,409
102	0,325	0,521	0,624	0,259
103	0,326	0,968	0,337	0,482
104	0,327	1,280	0,255	0,637
105	0,327	0,731	0,448	0,364
106	0,330	0,696	0,474	0,346
107	0,331	0,653	0,506	0,325
108	0,333	0,516	0,645	0,257
109	0,334	0,673	0,496	0,335
110	0,337	1,437	0,235	0,715
111	0,338	0,739	0,457	0,368
112	0,338	0,782	0,433	0,389
113	0,339	0,555	0,611	0,276
114	0,347	0,849	0,409	0,423
115	0,348	0,713	0,489	0,355
116	0,349	0,723	0,483	0,360
117	0,354	0,884	0,400	0,440
118	0,355	0,909	0,390	0,453
119	0,356	0,755	0,471	0,376
120	0,362	0,808	0,448	0,402
121	0,366	0,889	0,411	0,443
122	0,366	0,664	0,551	0,330
123	0,367	0,810	0,453	0,403
124	0,367	0,938	0,392	0,467
125	0,369	0,675	0,546	0,336
126	0,369	0,541	0,682	0,269
127	0,370	1,243	0,298	0,619
128	0,370	0,560	0,661	0,278
129	0,371	0,994	0,373	0,495
130	0,371	1,128	0,329	0,561
131	0,375	0,661	0,568	0,329

132	0,375	0,806	0,466	0,401
133	0,376	0,771	0,487	0,384
134	0,376	0,912	0,412	0,454
135	0,377	0,653	0,577	0,325
136	0,377	0,721	0,523	0,359
137	0,379	0,756	0,502	0,376
138	0,380	0,752	0,506	0,374
139	0,380	0,543	0,700	0,270
140	0,380	0,775	0,491	0,386
141	0,382	0,594	0,643	0,296
142	0,394	0,711	0,554	0,354
143	0,401	0,788	0,509	0,392
144	0,411	0,951	0,432	0,474
145	0,412	0,741	0,556	0,369
146	0,419	0,790	0,530	0,393
147	0,424	0,849	0,499	0,423
148	0,424	0,856	0,495	0,426
149	0,442	0,709	0,623	0,353
150	0,443	0,908	0,488	0,452

Příloha č.4.2.1: Zpřesnění jemnosti vláken – len

Tabulka č. 4.2.1: – Vypočtené hodnoty jemnosti lněných vláken

	Odhad jemnosti [tex]	Jemnost pomocí predikce kruhových vláken [tex]	Korekční faktor K [-]	Zpřesnění jemnosti [tex]
	T1	T2	K	T1i
1	0,349	0,594	0,588	0,296
2	0,306	0,614	0,498	0,306
3	0,171	0,342	0,499	0,170
4	0,253	0,461	0,548	0,229
5	0,309	0,457	0,675	0,228
6	0,158	0,331	0,478	0,165
7	0,200	0,359	0,556	0,179
8	0,216	0,308	0,703	0,153
9	0,215	0,482	0,446	0,240
10	0,222	0,393	0,567	0,195
11	0,256	0,433	0,592	0,215
12	0,242	0,339	0,714	0,169
13	0,124	0,210	0,588	0,105
14	0,232	0,536	0,433	0,267
15	0,177	0,539	0,328	0,268
16	0,180	0,391	0,460	0,195
17	0,173	0,420	0,412	0,209
18	0,208	0,344	0,605	0,171

19	0,233	0,328	0,710	0,163
20	0,342	0,719	0,476	0,358
21	0,223	0,471	0,474	0,234
22	0,234	0,367	0,636	0,183
23	0,171	0,302	0,565	0,150
24	0,145	0,271	0,534	0,135
25	0,212	0,440	0,481	0,219
26	0,189	0,491	0,384	0,244
27	0,137	0,377	0,365	0,187
28	0,203	0,344	0,590	0,171
29	0,170	0,399	0,425	0,199
30	0,156	0,354	0,439	0,176
31	0,149	0,373	0,400	0,186
32	0,138	0,366	0,378	0,182
33	0,224	0,331	0,678	0,165
34	0,290	0,486	0,597	0,242
35	0,245	0,385	0,637	0,191
36	0,409	0,514	0,796	0,256
37	0,213	0,348	0,612	0,173
38	0,329	0,702	0,469	0,349
39	0,237	0,395	0,598	0,197
40	0,273	0,348	0,784	0,173
41	0,179	0,431	0,414	0,215
42	0,247	0,347	0,713	0,173
43	0,233	0,358	0,651	0,178
44	0,329	0,435	0,756	0,217
45	0,243	0,348	0,699	0,173
46	0,149	0,266	0,561	0,133
47	0,173	0,236	0,732	0,118
48	0,174	0,255	0,683	0,127
49	0,244	0,401	0,608	0,200
50	0,423	0,643	0,658	0,320
51	0,371	0,620	0,597	0,309
52	0,265	0,395	0,670	0,197
53	0,175	0,287	0,609	0,143
54	0,202	0,278	0,727	0,138
55	0,116	0,172	0,673	0,086
56	0,209	0,325	0,645	0,162
57	0,087	0,144	0,605	0,072
58	0,202	0,273	0,737	0,136
59	0,157	0,236	0,665	0,118
60	0,129	0,214	0,603	0,106
61	0,157	0,210	0,747	0,105
62	0,162	0,226	0,714	0,113
63	0,227	0,415	0,548	0,206
64	0,137	0,245	0,559	0,122

65	0,128	0,220	0,582	0,109
66	0,117	0,202	0,579	0,101
67	0,124	0,237	0,523	0,118
68	0,122	0,198	0,615	0,099
69	0,153	0,309	0,496	0,154
70	0,316	0,582	0,544	0,290
71	0,211	0,332	0,636	0,165
72	0,361	0,535	0,674	0,266
73	0,181	0,323	0,559	0,161
74	0,165	0,255	0,649	0,127
75	0,179	0,380	0,472	0,189
76	0,179	0,405	0,442	0,202
77	0,185	0,261	0,711	0,130
78	0,168	0,282	0,596	0,140
79	0,129	0,178	0,723	0,089
80	0,142	0,255	0,559	0,127
81	0,123	0,226	0,544	0,112
82	0,087	0,164	0,532	0,081
83	0,120	0,212	0,567	0,105
84	0,114	0,152	0,752	0,075
85	0,114	0,212	0,539	0,105
86	0,120	0,317	0,378	0,158
87	0,193	0,270	0,713	0,135
88	0,069	0,123	0,566	0,061
89	0,048	0,151	0,316	0,075
90	0,096	0,145	0,658	0,072
91	0,130	0,256	0,507	0,127
92	0,146	0,241	0,607	0,120
93	0,239	0,290	0,826	0,144
94	0,362	0,539	0,672	0,268
95	0,248	0,377	0,659	0,187
96	0,258	0,352	0,733	0,175
97	0,247	0,305	0,811	0,152
98	0,212	0,298	0,712	0,148
99	0,201	0,245	0,821	0,122
100	0,124	0,169	0,732	0,084
101	0,154	0,264	0,585	0,131
102	0,111	0,202	0,549	0,101
103	0,135	0,252	0,536	0,125
104	0,185	0,326	0,568	0,162
105	0,175	0,331	0,529	0,165
106	0,190	0,313	0,608	0,156
107	0,184	0,246	0,749	0,122
108	0,106	0,244	0,435	0,122
109	0,150	0,188	0,799	0,093
110	0,187	0,301	0,621	0,150

111	0,165	0,314	0,525	0,156
112	0,156	0,255	0,612	0,127
113	0,110	0,248	0,446	0,123
114	0,124	0,213	0,584	0,106
115	0,166	0,293	0,567	0,146
116	0,189	0,318	0,594	0,158
117	0,122	0,233	0,525	0,116
118	0,214	0,411	0,521	0,205
119	0,229	0,435	0,525	0,217
120	0,191	0,315	0,605	0,157
121	0,156	0,208	0,751	0,103
122	0,179	0,279	0,641	0,139
123	0,118	0,169	0,697	0,084
124	0,142	0,288	0,492	0,143
125	0,143	0,283	0,506	0,141
126	0,149	0,298	0,499	0,148
127	0,121	0,200	0,603	0,100
128	0,114	0,223	0,512	0,111
129	0,117	0,193	0,605	0,096
130	0,202	0,323	0,625	0,161
131	0,142	0,240	0,592	0,120
132	0,195	0,316	0,619	0,157
133	0,105	0,176	0,600	0,087
134	0,105	0,177	0,594	0,088
135	0,190	0,288	0,661	0,143
136	0,152	0,255	0,595	0,127
137	0,117	0,238	0,492	0,119
138	0,094	0,186	0,507	0,092
139	0,186	0,284	0,655	0,141
140	0,189	0,247	0,766	0,123
141	0,093	0,209	0,447	0,104
142	0,209	0,375	0,557	0,186
143	0,171	0,303	0,563	0,151
144	0,137	0,225	0,608	0,112
145	0,090	0,143	0,630	0,071
146	0,123	0,218	0,563	0,109
147	0,094	0,177	0,528	0,088
148	0,083	0,144	0,572	0,072
149	0,092	0,223	0,414	0,111
150	0,074	0,122	0,609	0,061

Příloha č.5: Měření ohybové tuhosti kompozitních fólií

Tabulka č. 5.1, Tabulka č. 5.2: Naměřené hodnoty kompozitních fólií

Pla	F [N]	Mo [mN*cm]
1	1,334	0,805736
2	1,111	0,671044
3	0,932	0,562928
4	1,308	0,790032
5	1,354	0,817816
6	1,339	0,808756
7	0,783	0,472932
8	0,763	0,460852
9	1,39	0,83956
10	1,221	0,737484

Pla + 10 hm % ATBC	F [N]	Mo [mN*cm]
1	1,495	0,90298
2	1,433	0,865532
3	1,752	1,058208
4	1,901	1,148204
5	1,779	1,074516
6	1,659	1,002036
7	1,876	1,133104
8	1,907	1,151828
9	1,174	0,709096
10	1,836	1,108944

Tabulka č. 5.3, Tabulka č. 5.5.4: Naměřené hodnoty kompozitních fólií

Pla + 5 hm % konopí	F [N]	Mo [mN*cm]
1	1,089	0,657756
2	1,572	0,949488
3	1,359	0,820836
4	1,359	0,820836
5	0,972	0,587088
6	1,217	0,735068
7	1,036	0,625744
8	0,866	0,523064
9	1,218	0,735672
10	1,372	0,828688

Pla + 5 hm % len	F [N]	Mo [mN*cm]
1	1,771	1,069684
2	1,579	0,953716
3	1,643	0,992372
4	1,542	0,931368
5	1,571	0,948884
6	1,726	1,042504
7	1,584	0,956736
8	1,616	0,976064
9	1,48	0,89392
10	1,786	1,078744

Tabulka č. 5.5, Tabulka č. 5.6: Naměřené hodnoty kompozitních fólií

Kelímek kávový	F [N]	Mo [mN*cm]
1	0,254	0,153416
2	0,119	0,071876
3	0,493	0,297772
4	0,135	0,08154
5	0,98	0,59192
6	0,138	0,083352
7	0,134	0,080936
8	0,124	0,074896
9	0,143	0,086372
10	0,121	0,073084

Kelímek pivní	F [N]	Mo [mN*cm]
1	0,579	0,349716
2	0,364	0,219856
3	0,422	0,254888
4	0,527	0,318308
5	0,449	0,271196
6	0,445	0,26878
7	0,293	0,176972
8	0,345	0,20838
9	0,321	0,193884
10	0,295	0,17818

Tabulka č. 5.7, Tabulka č. 5.8: Naměřené hodnoty kompozitních fólií

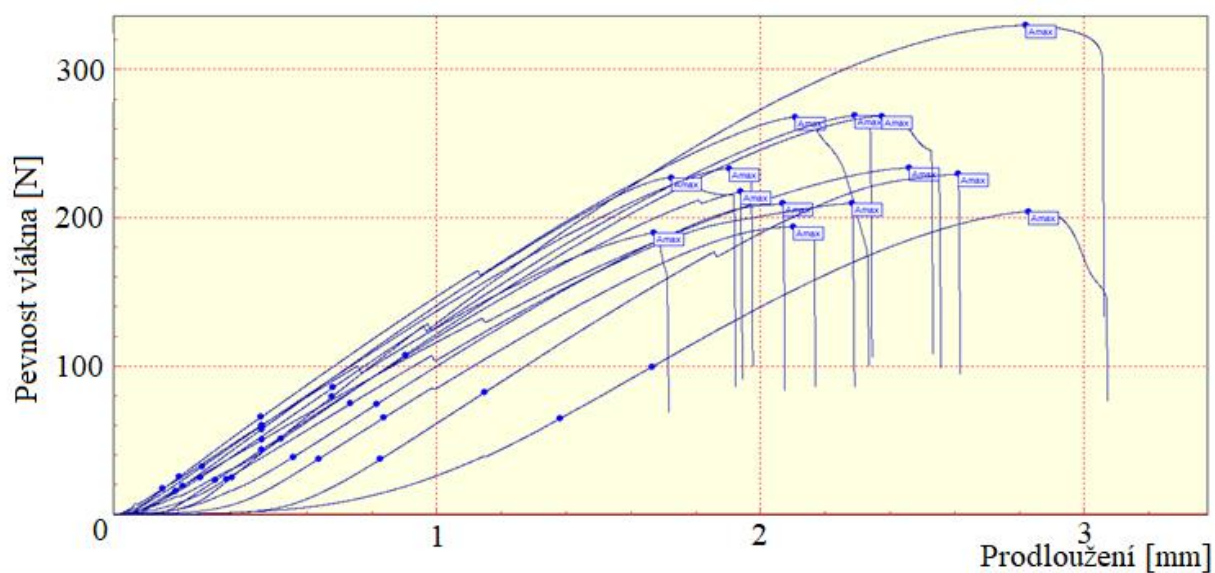
Pla + 10 hm % ATBC+ 5 hm % konopí	F [N]	Mo [mN*cm]
1	0,598	0,361192
2	0,369	0,222876
3	0,411	0,248244
4	0,378	0,228312
5	0,563	0,340052
6	0,448	0,270592
7	0,305	0,18422
8	0,398	0,240392
9	0,733	0,442732
10	0,362	0,218648

Pla + 10 hm % ATBC+ 5 hm % len	F [N]	Mo [mN*cm]
1	1,812	1,094448
2	1,252	0,756208
3	1,976	1,193504
4	1,525	0,9211
5	1,511	0,912644
6	1,649	0,995996
7	1,518	0,916872
8	1,871	1,130084
9	1,596	0,963984
10	1,767	1,067268

Příloha č.6: Měření pevnosti kompozitních fólií

Tabulka č. 6.1: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie– PLA

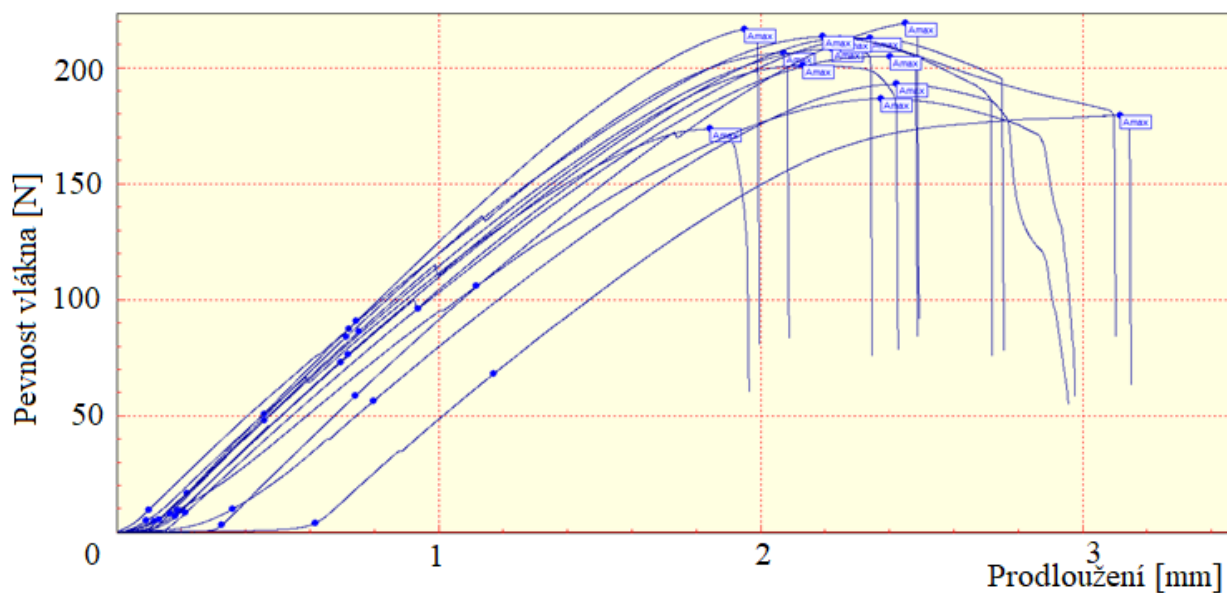
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ε_t [Mpa]
1	267,75	2066,17
2	268,71	1372,66
3	329,82	1231,11
4	233,55	1934,58
5	204,14	615,67
6	268,54	1183,59
7	227,06	1812,66
8	233,17	2307,5
9	217,51	1129,87
10	209,5	1085,55
11	209,73	1184,83
12	193,75	920,46
13	229,55	794,09
14	189,84	1653,31



Obrázek č. 6.1: Tahové křivky vzorků kompozitní fólie – PLA

Tabulka č. 6.2: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie–
PLA + 10 hm % ATBC

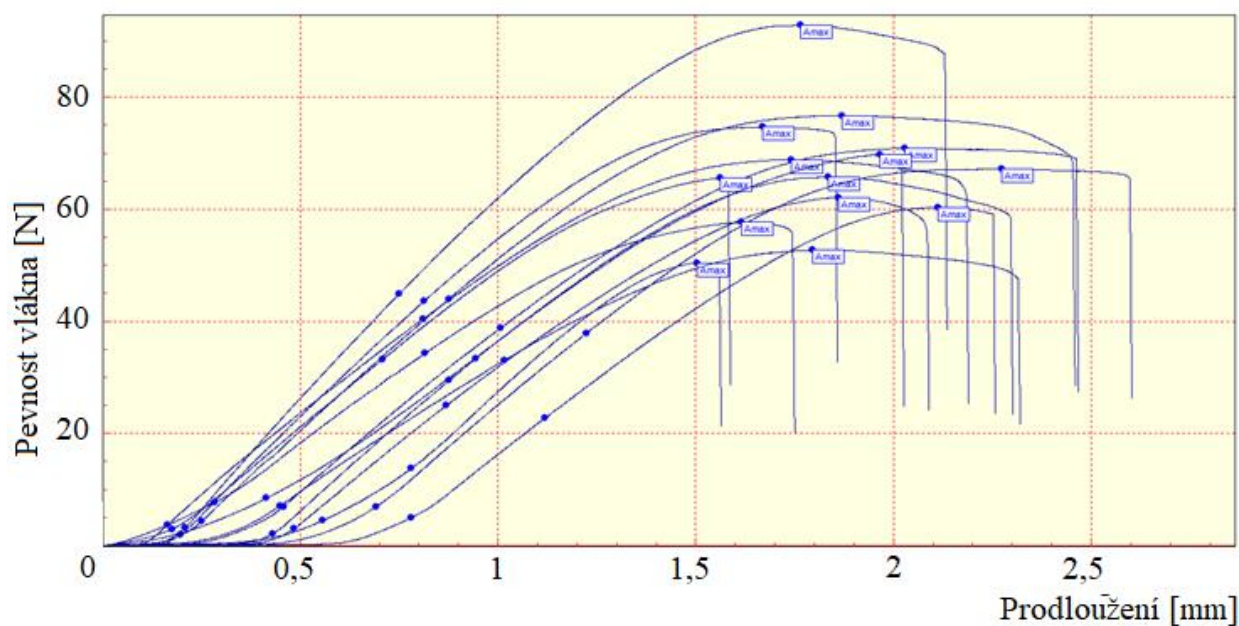
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ϵ_t [Mpa]
1	206,3	1894,25
2	173,71	1763,82
3	208,19	1577,48
4	192,88	1115,05
5	219,17	1153,21
6	212,93	1893,55
7	212,37	1779,74
8	179,61	737,91
9	177,71	-221,73
10	213,34	22,71
11	186,58	1480,59
12	204,94	1711,71
13	201,03	1833,09
14	216,67	1893,18



Obrázek č. 6.2: Tahové křivky vzorků kompozitní fólie PLA + 10 hm % ATBC

Tabulka č. 6.3: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní folie–
PLA + 10 hm % ATBC + 5 hm % konopí

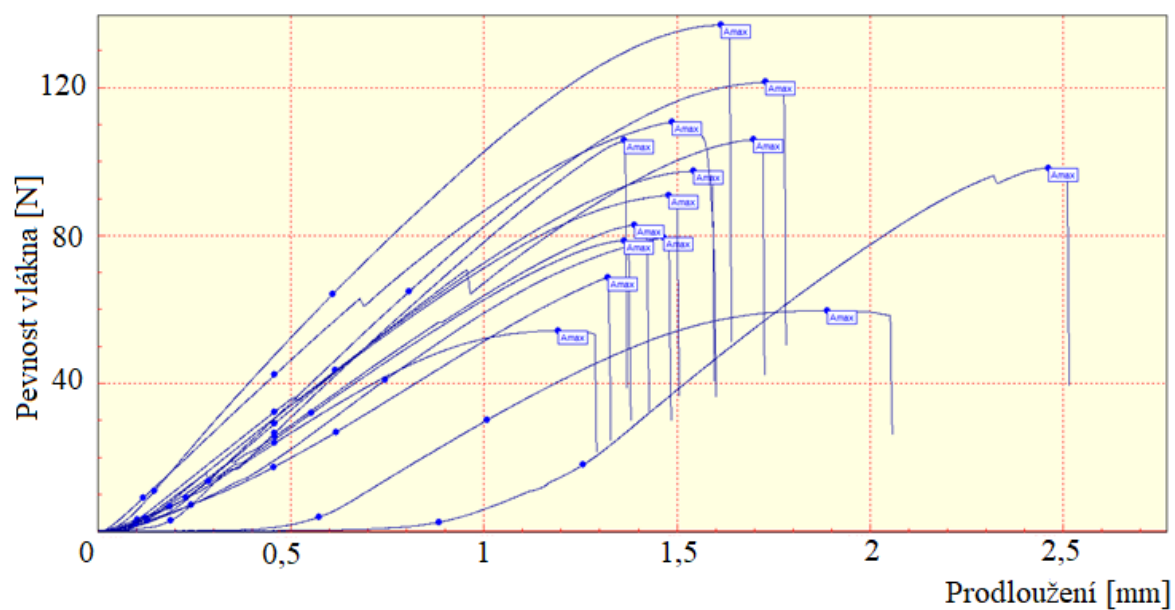
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ϵ_t [Mpa]
1	74,68	903,44
2	65,77	484,09
3	62,08	424,62
4	76,71	878,5
5	70,93	655,35
6	67,18	498,34
7	68,81	983,51
8	50,41	283,8
9	92,86	956,52
10	60,3	352,83
11	65,62	951,83
12	69,72	659,25
13	57,66	904,73
14	52,72	662,75



Obrázek č. 6.3: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 10 hm %
ATBC + 5 hm % konopí

Tabulka č. 6.4: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní fólie -
PLA + 10 hm% ATBC + 5 hm % len

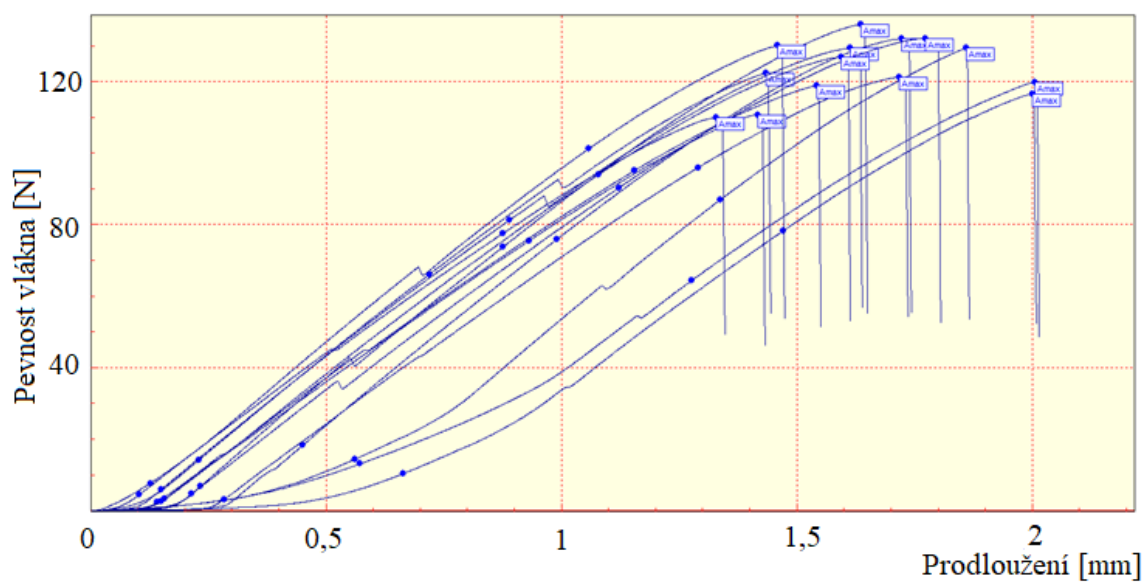
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ϵ_t [Mpa]
1	79,39	879,04
2	90,85	1195,08
3	82,83	958,17
4	105,66	896,04
5	98,22	175,62
6	78,63	1011,18
7	97,43	1219,85
8	54,24	932,92
9	105,9	1193,63
10	59,68	475,47
11	68,7	972,07
12	121,5	1325,01
13	110,68	1621,21
14	136,95	1526,88



Obrázek č. 6.4: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 10 hm% ATBC
+ 5 hm % len

Tabulka č. 6.5: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní fólie – PLA+ 5 hm % len

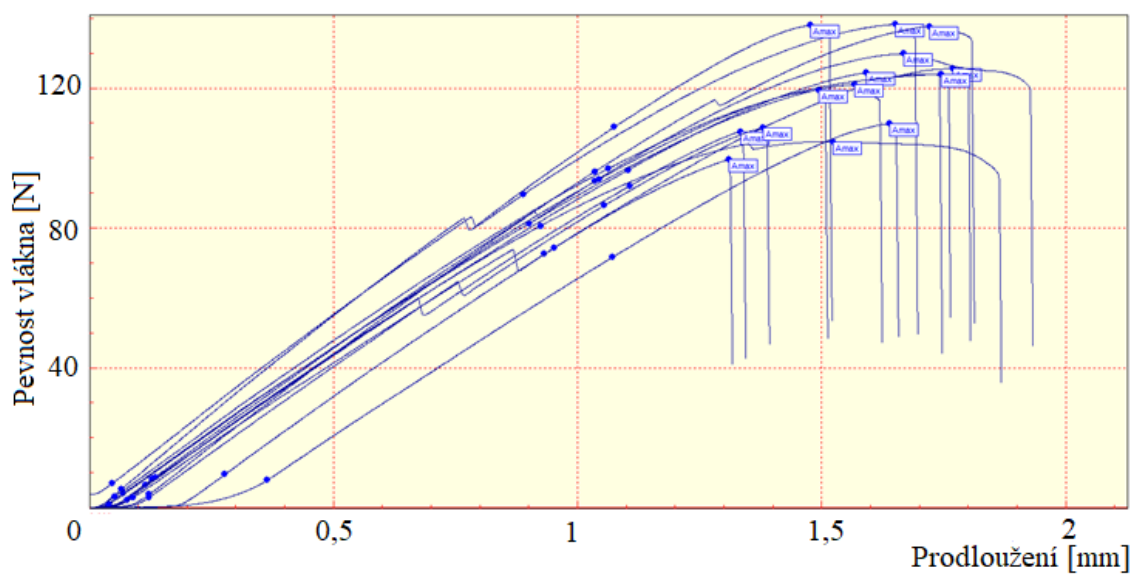
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ϵ_t [Mpa]
1	129,34	777,89
2	119,85	592,46
3	122,4	1350,61
4	131,98	1039,09
5	116,61	603,05
6	136,00	1164,85
7	129,36	1359,92
8	132,05	1175,66
9	121,27	1039,55
10	110,71	1182,47
11	130,03	1579,5
12	126,86	1272,65
13	118,79	1225,03
14	109,94	1482,73



Obrázek č. 6.5: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 5 hm % len

Tabulka č. 6.6: Naměřené hodnoty pevnosti kompozitní fólie-
PLA + 5 hm % konopí

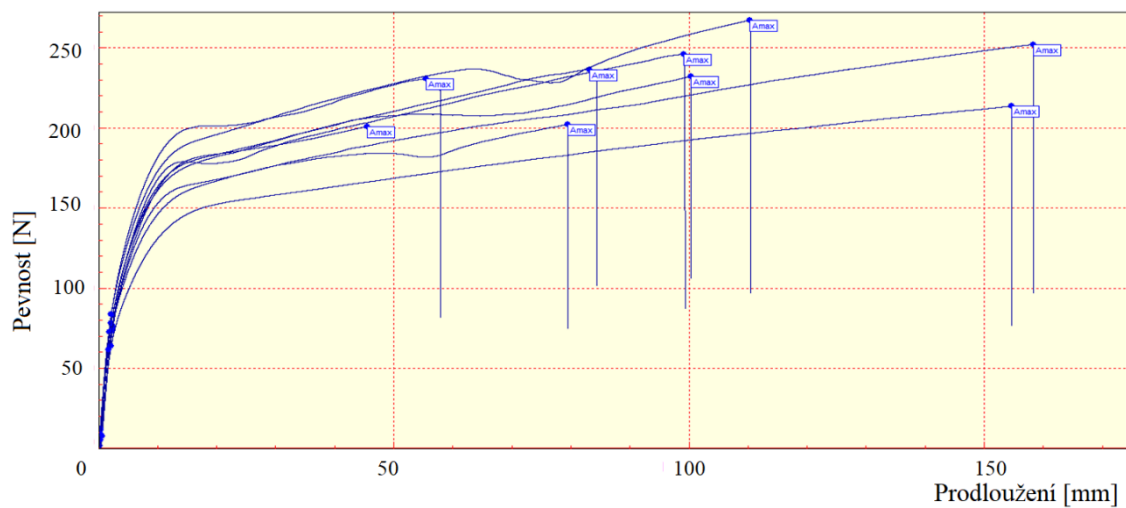
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ϵ_t [Mpa]
1	125,57	1181,75
2	129,83	1515,91
3	138,26	1971,63
4	107,54	1442,86
5	138,04	1847,86
6	124,47	1625,48
7	104,66	1440,84
8	137,60	1469,56
9	120,97	1552,28
10	119,44	1568,83
11	108,66	1357,03
12	124,03	1760,83
13	109,75	1004,35
14	99,51	1439,64



Obrázek č. 6.6: Tahové křivky zkoušených vzorků kompozitní fólie – PLA + 5 hm % konopí

Tabulka č. 6.7: Naměřené hodnoty pevnosti polypropylenového kelímku

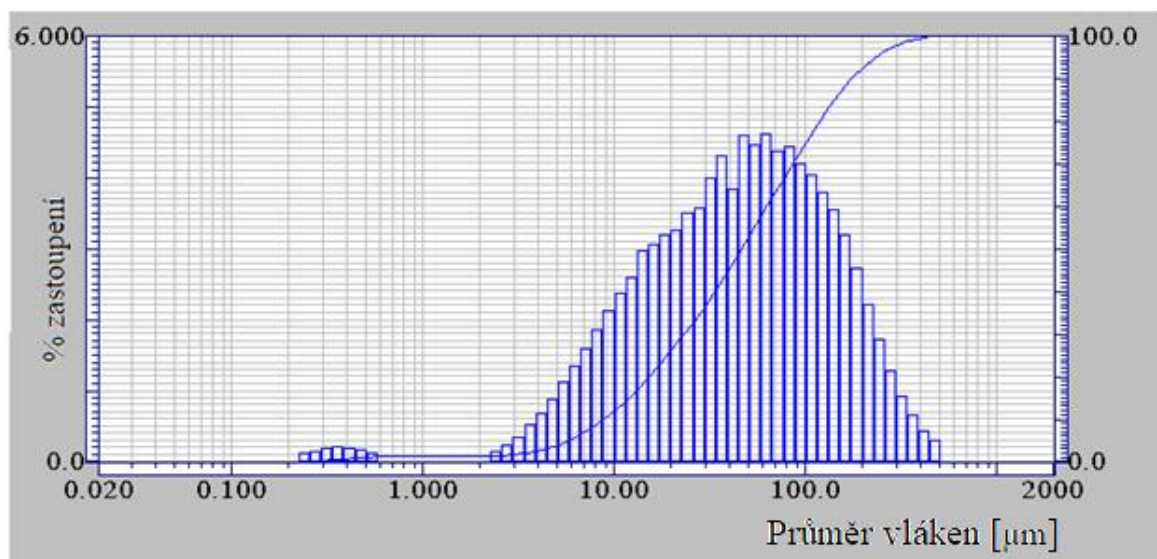
	Pevnost F [N]	Modul pružnosti ε_t [Mpa]
1	230,79	92,61
2	232,22	101,14
3	246,03	66,13
4	202,05	67,23
5	236,41	97,61
6	267,22	104,95
7	252,18	86,07
8	213,68	70,93
9	201,05	92



Obrázek č. 6.7: Tahové křivky zkoušených vzorků polypropylenového kelímku

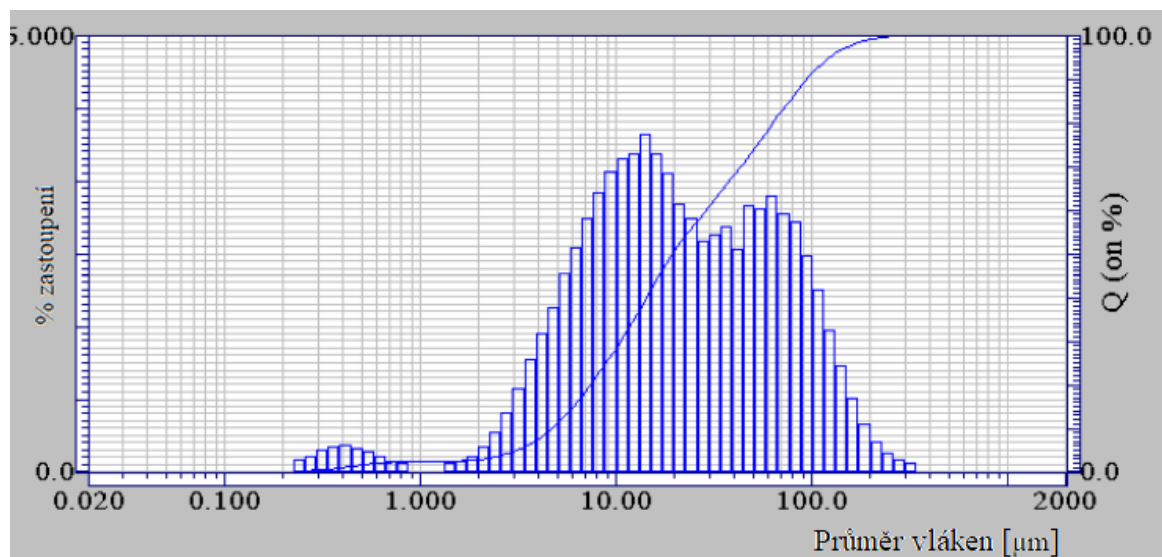
Příloha č.7: Měření velikosti částic

Histogram distribuce průměrů částic lnu



Obrázek č. 7.1: Znázornění průměrů částic lnu

Histogram distribuce průměrů částic konopí



Obrázek č. 7.2: Znázornění průměrů částic konopí