

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Bakalářská práce

**Simulace výroby papírenské vlákniny z kůrovcové
kalamity za účelem udržitelnosti lesního hospodářství**

Autor: František Srp

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

František Srp

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Simulace výroby papírenské vlákniny z kůrovcové kalamity za účelem udržitelnosti lesního hospodářství

Název anglicky

Simulation of pulp production from bark beetle calamity for the purpose of forestry sustainability

Cíle práce

Bakalářská práce má za cíl využití dřeva, kterého je po kůrovcové kalamitě v České republice nadbytek. Hlavním cílem je simulovat výrobu papercharu, papírenské vlákniny s přidavkem biocharu, který je ekologickým zpracováním právě kůrovcového dřeva a může sloužit jako aditivum, které zvyšuje obsah organické hmoty v zemědělské či lesnické půdě. Při simulaci výroby je důležité určit, nejen jaká vláknina bude pro výrobu nejpříjemnější, ale hlavně jaké má být procentuální zastoupení biocharu, aby výsledný produkt byl nejprospěšnější k pěstování rostlin v lesních školkách.

Metodika

- Literární rešerše o jednotlivých vlákninách a biocharu
- Stanovení vhodného metodického postupu testování
- Simulace výroby papercharu
- Zpracování naměřených dat a vyhodnocení výsledků
- Závěr

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

Paperchar, Biochar, Vlákna, Buničina, Stupeň mletí

Doporučené zdroje informací

MILICHOVSKÝ, M. Návody pro laboratorní práce z chemické technologie papíru a celulózy. Pardubice: VŠCHT Pardubice, 1979, 133 s.

SIXTA, H. Handbook of pulp. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006, 1369 s. ISBN 3-527-30999-3.

SOUČEK, M. Zkoušení papíru. Praha: SNTL, 1977, 344 s.

Tappi Test Methods. Georgia: Tappi Press Atlanta, 2004. ISBN 1-930657-33-1.

VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., DIAFAS, I. Biochar Application to Soils. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2010, 166 s. ISBN 978-92-79-14293-2.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2021

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: Simulace výroby papírenské vlákniny z kůrovcové kalamity za účelem udržitelnosti lesního hospodářství vypracoval/a samostatně a citoval/a jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil/a, a které jsem rovněž uvedl/a na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom/a, že na moji bakalářskou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom/a, že odevzdáním bakalářské/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 26.3.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Kateřině Hájkové, Ph.D. z Fakulty lesnictví a dřevařství za velkou trpělivost, vstřícnost, odborné vedení, ochotu a věnovaný čas. Dále bych také rád poděkoval své rodině za velkou podporu, které se mi dostalo během studia.

Simulace výroby papírenské vlákniny z kůrovcové kalamity za účelem udržitelnosti lesního hospodářství

Abstrakt

Tato práce pojednává o nadbytku dřeva během kůrovcové kalamity v České republice a o jeho zpětném využití v zemědělství, průmyslu a lesnictví. Jednou z forem je výroba papercharových archů, které budeme dále používat v lesním hospodářství v podobě gifipotů, do kterých budou umístěny rostliny. Gifipoty budou sloužit nejen jako produkt ze zpracování kůrovcového dřeva, ale také jako výživový obal pro rostliny.

Výsledkem této práce je porovnání účinnosti primární a sekundární vlákniny pro výrobu papercharu. Dalším bodem, na který se zaměřuji je vhodný stupeň mletí podle Schoppera-Rieglera.

Klíčová slova: Paperchar, Biochar, Vlákna, Buničina, Stupeň mletí

Simulation of pulp production from bark beetle calamity for the purpose of forestry sustainability

Abstract

This work deals with the excess of wood during the bark beetle calamity in the Czech Republic and its reuse in agriculture, industry and forestry. One of the leading is the production of paperchar sheets, which we will continue to use in forestry in the form of gifipots, in which the plants will be placed. Gifipots will serve not only as a product from the processing of bark wood, but also as a nutritional packaging for plants.

The result of this work is a comparison of the efficiency of primary and secondary pulp for paperchar production. Another point I am focusing on is the appropriate Schopper-Riegler value.

Keywords: Paperchar, Biochar, Fibre, Pulp, Schopper-Riegler freeness

Obsah

Seznam symbolů.....	10
1. Úvod	11
2. Cíle práce.....	12
3. Teoretická část.....	13
3.1 Papírenská vláknina.....	13
3.1.1 Primární papírenská vláknina.....	13
3.1.2 Dřevní buničina v závislosti na vlhkosti	14
3.1.2.1 Sulfátová buničina	16
3.1.3 Sekundární vláknina.....	16
3.1.3.1 Nasávaná kartonáž	17
3.2 Biochar	17
3.2.1 Výroba biocharu.....	18
3.2.2 Použití biocharu	18
3.3 Mletí vlákniny	21
4. Experimentální část	23
4.1 Laboratorní zařízení	23
4.1.1 Holandr.....	23
4.1.2 MŠO – Mlýn se šikmým onožením	23
4.1.3 Schopperův-Rieglerův přístroj.....	26
4.1.4 Rozvlákňovač.....	26
4.1.5 Laboratorní archovač	27
4.2 Mletí vlákniny	28
4.3 Stanovení obsahu sušiny	29
4.4 Stupeň mletí.....	29
4.5 Aplikace pasty	30
4.6 Rozvláknění pasty a vlákniny.....	31
4.7 Výroba papercharu na archovači	31
4.8 Stanovení obecných vlastností	32
4.9 Stanovení nečistot v podsítových vodách	32
4.10 Barevnost papercharu	33
5. Výsledky a diskuse	35
5.1 Vláknina	35
5.1.1 Nebělená buničina – 20 SR.....	35
5.1.2 Nebělená buničina – 40 SR.....	36
5.1.3 Nebělená buničina – 65 SR.....	37
5.1.4 Nasávaná kartonáž	39
5.2 Vlastnosti papercharu	40
5.2.1 Plošná hmotnost	40

5.2.2	Množství nečistot v podsíťových vodách	42
5.2.3	Barevnost	45
5.3	Diskuse	49
6.	Závěr.....	50
7	Seznam použitých zdrojů	51
	Seznam obrázků	53
	Seznam tabulek.....	55

Seznam symbolů

Symboly

<i>A</i>	průměrné procento suchého vzorku, % (rovnice 3.2)
<i>B</i>	celková hmotnost balíku, kg, t (rovnice 3.2)
<i>D</i>	hmotnost vzorku buničiny bez vlhkosti, kg, t (rovnice 3.1)
<i>I</i>	množství nečistot, g, %
<i>m</i>	celková hmotnost, kg, t (rovnice 3.2)
<i>m</i>	hmotnost archu, g (rovnice 4.3)
<i>m_{a.s.}</i>	hmotnost absolutně suchého vzorku, g
<i>m_{fp}</i>	hmotnost filtračního papíru, g (rovnice 4.4)
<i>m_l</i>	hmotnost nečistot, g (rovnice 4.4)
<i>m_{v.s.}</i>	hmotnost vzduchosuchého vzorku, g
<i>m_s</i>	plošná hmotnost, g·m ⁻²
<i>P</i>	procento buničiny sušené na vzduchu, % (rovnice 3.1)
<i>S</i>	sušina, % (rovnice 4.1)
<i>S</i>	plocha archu, cm ² (rovnice 4.3)
<i>SR</i>	stupeň mletí podle Schoppera-Rieglera
<i>V(H₂O)</i>	objem vody, ml (rovnice 4.2)
<i>W</i>	hmotnost vzorku vlhké buničiny, kg, t (rovnice 3.1)
<i>Z</i>	celková hmotnost zásilky sušené na vzduchu, kg, t (rovnice 3.2)

Zkratky

<i>a</i>	pro zeleno-červené barevné komponenty (kap. 5.2.3)
<i>b</i>	pro modro-žluté barevné komponenty (kap. 5.2.3)
<i>BC</i>	biochar
<i>ČSN</i>	Česká státní norma
<i>L</i>	hodnota světlosti (kap. 5.2.3)
<i>MŠO</i>	mlýn se šikmým onožením

1. Úvod

Kůrovcová kalamita, která postihuje celé Česko už více než pět let zanechává v krajině obrovské škody. Všude okolo lesů jsou několika kubíkové hromady dříví a často několika hektarové pláně. Těžba zasažených stromů je velice náročná, a to hlavně finančně, protože kůrovec zasáhne většinu stromů.

Tuto situaci způsobuje především již několik let přetrvávající sucho v krajině, díky kterému stromy (především smrky) nemají dostatek vláhy k vytvoření mízy, která by kůrovce zastavila a vědci tvrdí, že tato situace se jen tak nezlepší. Jak je již známo, tak v České republice máme bohužel převahu jehličnatých stromů na úkor listnatých. Dnes se tento „trend“ začíná trochu obracet.

Dřevo zasažené kůrovcem se bohužel nedá využít ani v truhlářském průmyslu, a tak se lidé budou muset přizpůsobit a začít vymýšlet, jak smysluplně využít nadbytek pokácených stromů než-li jen k jeho spalování.

Jedním z potencionálních řešení je biochar, který je ekologickým zpracováním právě tohoto dřeva. Může sloužit např. jako pomocná látka v zemědělství, průmyslu nebo lesnictví. Při vytvoření suspenze z vody či vermitea, biocharu a papírenské vlákniny, získáme materiál vhodný pro výrobu papíru s přídavkem biocharu, tzv. paperchar. Tento paperchar lze dále využít jako konečný produkt na výrobu papercharových gifipotů, ze kterých rostliny získávají potřebné živiny ve formě vlákniny. (Šeliga, 2020)

2. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je využití nadbytku dřeva z kůrovcové kalamity v České republice. Zaměřil jsem se především na simulaci výroby papercharu, papírenské vlákniny s přídavkem biocharu, který je ekologickým zpracováním již zmiňovaného kůrovcového dřeva, které můžeme využívat jako aditivum, jenž pomáhá zvyšovat obsah organické hmoty v oblasti zemědělství a lesnictví. Dalším cílem je stanovení nejpříjemnější vlákniny pro výrobu a procentuální zastoupení biocharu, abychom zjistili, jaký z produktů bude nejprospěšnější k pěstování rostlin v lesních školkách.

3. Teoretická část

3.1 Papírenská vláknina

V dnešní době výroba papírenské vlákniny od svého vzniku významně pokročila a pokrok nastal především v náročnějším a stále rozsáhlejším automatizovaném výrobním procesu. Důraz je kladen na zlepšování kvality, zachování životního prostředí a efektivnosti výroby. Dnes se tedy stal papírenský a celulózový průmysl velmi důležitým ekonomickým odvětvím. V současné době se na celém světě používá 90 % buničiny (panenské vlákniny) vyráběné z dřevní buničiny. První druhy stromů, které se v papírenském průmyslu používaly k výrobě papíru, byly smrky a borovice pocházející z chladného severního podnebí Evropy a Severní Ameriky. Největší zásoby dřeva na světě jsou v Kanadě, Rusku (měkké dřevo) a v Jižní Americe (tvrdé dřevo). Z dlouhodobého hlediska se z Ruska a Jižní Ameriky stane velmoc dominující v produkci buničiny. (Sixta, 2006)

3.1.1 Primární papírenská vláknina

Hlavním zdrojem buničiny je přírodní celulóza, která se musí dále chemicky upravit. Celulóza se zbavuje veškerých vosků, ligninu, hemicelulóz, tuků atd. Vlastnosti buničiny se hodnotí především dle rozpustnosti v alkáliích, podle rozpustnosti se celulóza nazývá buď alfa, beta nebo gama celulózou. Podle obsahu ligninu je rozdělujeme do tříd na měkké, střední a tvrdé. Do budoucna se uvažuje o zhruba 7 % využití buničiny na výrobu umělých vláken a zbylých 93 % z celkové výroby na výrobu papíru a ostatních kartonů. Těchto 93 % na papírenský průmysl musí splňovat několik požadavků, a to například vysokou pevnost vláken, snadné mletí a elasticitu vláken. (Bučko a kol., 1988)

Historie zpracování a samotné výroby buničiny se počítá k roku 1853, kdy se buničinu podařilo vyrobit ze slámy. Dalším krokem k vývoji přispěl patent dvou Američanů Watta a Burgese, kteří předvedli výrobu ze dřeva. (Bučko a kol., 1988)

Jedná se o chemický proces, kde jeho hlavní snaha je narušení látky způsobující pevnost rostliny, ale zároveň se snažíme nepoškodit molekuly celulózy, které tvoří buněčnou stěnu. V následujícím odstavci je uveden postup výrobní fáze při výrobě papíru. (Kindl, 2016)

Výrobní fáze:

1. Odstranění kůry ze stromu (kůra je dále používána jako palivo při výrobě).
2. Štěpkování dřeva.
3. Skladování štěpek za účelem biologických procesů (narušení struktury ligninu).
4. Provaření štěpek (kyselý a zásaditý proces)
 - Kyselý (sulfitový) proces: základem je SO_2 spolu s CaO nebo MgO . Proces probíhá za teploty $140\text{ }^\circ\text{C}$ a pH 1–2. Vzniklá buničina má nižší pevnost a vysokou bělost. V České republice se vyrábí pouze v jediné firmě, a to v Paskově, ale bohužel již v omezeném množství.
 - Zásaditý proces: do varného procesu se přidávají chemikálie jako je Na_2S a NaOH . Proces probíhá za teploty $170\text{ }^\circ\text{C}$ a při pH až 13. Buničina má výbornou pevnost a je určena pro výrobu mechanicky namáhaného papíru.
5. Vyprání buničiny od varných chemikálií.
6. Bělení buničiny (odstraňování ligninu) za pomoci oxidu chloričitého, chlornanu sodného nebo bez použití chlóru, bělení peroxidem vodíku, kyslíkem či ozónem. Tato fáze výroby je však pouze u bělené buničiny, u nebělené buničiny tento proces odpadá.
7. Mletí vláken.
8. Sušení buničiny nebo využití pro výrobu papíru. (Kindl, 2016)

3.1.2 Dřevní buničina v závislosti na vlhkosti

Buničina se dodává většinou ve formě archu, role nebo v mokrých kolech. Buničina se většinou prodává sušená na vzduchu tzn. (90 % sušiny a 10 % vlhkosti), bez ohledu na množství vlhkosti pokaždé platíme za buničinu sušenou na vzduchu. Pokud nebudeme souhlasit s cenou buničiny z důvodu nesouladu ceny ku množství, je možné si pozvat analytika, který provede oficiální postup pro testování. K odběru vzorků se používá vrtací nástroj s kotoučem v průměru 100 mm, šablona s vrcholovým úhlem 24° a o délce 460 mm, laboratorní váha s citlivostí 0,1 % a laboratorní sušárna, díky které zjistíme konstantní hmotnost vzorku. V sušárně se nesmí překročit teplota $108\text{ }^\circ\text{C}$ a v posledních dvou hodinách je nejpříznivější teplota $105\text{ }^\circ\text{C}$. K uložení

a vážení vzorku slouží kovové misky s přiléhajícím víkem. Při vážení vzorku musíme stanovit přesnou váhu misky.

Pro stanovení vzorků můžeme použít několik metod jako je např. vrtací metoda (využívána při odběru lisované buničiny nebo buničiny s obsahem sušiny nad 80 %, není však vhodná pro stanovení mokré buničiny). Jako další používáme metodu klínovou, ta se využívá právě pro mokrou buničinu. Odebírání vzorků se provádí u balíků buničiny, které se skládají z několika úrovní vlhkosti, a tudíž musíme vzorků odebrat několik. Vzorky zásadně neodebíráme z míst, které jsou vystaveny povětrnostním podmínkám nebo teple.

Postup stanovení hrubé hmotnosti buničiny:

1. Hmotnost vlaku: vážíme pomocí železniční váhy. Nejprve zvážíme plný vagón a poté prázdný vagón. Odebraný vzorek by měl být vyhodnocen do 48 hodin od odběru.
2. Váha nákladního vozu: před vykládkou zvážíme nákladní automobil a totéž opakujeme po vykládce. Vzorek musí být vyhodnocen do 48 hodin od odběru.
3. Průměrná hmotnost balíku: Z vybraných balíků buničiny odebereme potřebné vzorky a balíky následně zvážíme. K tomuto testu se používají balíky o stejné nebo velmi podobné váze, které nebyly vystaveny dešti nebo jinému navlhčení.

Výše zmíněné lze dopočítat podle následujících vztahů

$$P = \frac{D \cdot 100}{W \cdot 0,9}, \quad (3.1)$$

podle kterého dopočteme procento buničiny sušené na vzduchu, když známe hmotnost vzorku buničiny bez vlhkosti, D , a hmotnost vzorku vlhké buničiny, W . (Sindibaldi a Wenner, 1982)

Celkovou hmotnost zásilky sušené na vzduchu, Z , vypočteme rovnicí

$$Z = \frac{B \cdot A \cdot m}{100}, \quad (3.2)$$

kde B je celková hmotnost balíku, A je průměrné procento suchého vzduchu a m je celková hmotnost. (Sindibaldi a Wenner, 1982)

3.1.2.1 Sulfátová buničina

Příprava sulfátové buničiny z dřevěných vláken se skládá z úpravy dřeva, přípravy varného roztoku (NaOH), zpracování štěpek, třídění buničiny, bělení buničiny, sušení a odvodu přebytečné vody. Sulfátový postup je postaven na chemickém rozrušování vazeb celulózy a hemicelulóz rostlinného materiálu. Pro tento postup lze použít jakékoliv dřevo, jakékoliv kvality, protože poškozené dřevo se spálí v regeneračním kotli, bohužel tím se sníží celkový výtěžek vyrobené buničiny. Druhý vliv na výtěžnost má kvalita štěpek, což je optimální velikost, tvar a rovnoměrnost, vše se odvíjí od impregnační schopnosti dřeva, která je důležitá i pro rovnoměrné převaření štěpek. (Bučko a kol., 1988)

Diskontinuální proces výroby je proces výroby, při kterém se nejprve postupně naplní varná nádoba štěpkami za přístupu páry. Zespodu nádoby se odvádí vzduch, přebytečná pára a jejich kondenzát. Následně je na řadě impregnace štěpek. Díky impregnaci se ze dřeva odvádí vzduch a na jeho místo se následně dostávají varné chemikálie, které napomáhají delignifikaci (rozrušování vazeb celulózy a hemicelulóz). Poté se nádoba uzavře, a začne cirkulace a nepřímý ohřev. Následuje odstranění plynu přes terpentýnový okruh z nádoby, čerpadlem se pak vtlačí chladný nebo prací výluh. (Bučko a kol., 1988)

Tento varný proces je jedním z nejrozšířenějších způsobů výroby sulfátové buničiny na světě. Vedle mnoha výhod disponuje i několika nevýhodami např. v začátcích varného procesu dochází ke ztrátě velkého množství hemicelulóz. (Milichovský, 1979)

3.1.3 Sekundární vláknina

Oproti primární vláknině se vlákna získávají recyklací již použitého papíru. Výhodou sekundární vlákniny jsou nízké náklady a smyslné znovuvyužití starého papíru. Papír se zpracovává tak, aby nedocházelo ke zkracování jeho vláken. Další částí zpracování je odstranění barviv jako je tiskařská čern, která zapříčiňuje šedé zbarvení papíru. Poté následuje zbavení se ostatních nečistot. Bohužel, každým sekundárním zpracováním papírenské vlákniny dochází ke krácení vláken, proto můžeme vlákninu využít maximálně sedmkrát, poté ztrácí vlákna svoji vazebnou pevnost. (Sixta, 2006)

3.1.3.1 Nasávaná kartonáž

Nasávaná kartonáž patří do moderních obalových materiálů, které mají velmi nízký vliv na zatížení životního prostředí, jsou 100% recyklovatelné, mají téměř neomezené využití v průmyslu a vynikající tlumící schopnost. Tvarované obaly se vyrábí od roku 1903 a s jejich výrobou začal Martin Keyes. Výhody nasávané kartonáže jsou biologická rozložitelnost, 100% recyklovatelnost, ekonomická výhodnost, minimální odpad, výroba bez toxických substancí, šetrnost k životnímu prostředí, snižování oxidů, konkrétně NO₂ a CO₂. (Tridas, 2021)

Výroba probíhá na automatických linkách. Výroba spočívá v nasátí materiálu, který je vytvarován do určité podoby v síťové formě, a to vše probíhá bez jakéhokoliv odpadu. Stroj určený na výrobu kartonáže se skládá z nádrže (obsahem nádrže je zředěná suspenze vlákniny s obsahem 3 % vláken) a z nasávacího bubnu, který je opatřen tvarovací formou. Formu tvoří pevná podlážka s odtokovým kanálkem a papírenským sítem. Pomocí vakua se do rotující formy nasává vláknina. Na sítu formy se papírovina zbaví přebytečné vody. Výrobek je poté sundán pomocí protiformy a obsahuje cca 25% sušiny papírenské vlákniny. Poslední částí výroby je sušárna (sušicí tunel). Sušárna má za úkol zbavit vlákninu přebytečné vody a z 25% sušiny udělat 92–95% sušinu. Nejúčinnější sušárnou je sušárna dýzová, díky svému rychlému procesu sušení. Stroje na výrobu máme dvou nebo čtyřformové, které dosahují výkonu 6 000 ks·h⁻¹, největší výkon mají automatické stroje, které jsou schopné dosáhnout výkonu až 13 000 ks·h⁻¹. (Gebrtová a Kadeřábek, 1983)

Kartonážové výrobky, díky své pružnosti a vysoké pevnosti, slouží především k balení křehkých předmětů, jako jsou plata na vajíčka, talířky a misky na jedno použití nebo jako fixační výztuže do přepravních obalů. (Gebrtová a Kadeřábek, 1983)

3.2 Biochar

Biochar, nebo-li biouhel, je černý pevný materiál, který vyrábíme za pomoci termochemické přeměny biomasy za omezeného přístupu kyslíku. Jedná se o moderní metodu, díky které jsme schopni znovu zpracovávat bioodpad nebo nadbytek kůrovcového dřeva a zároveň být šetrní k životnímu prostředí. Můžeme jej považovat za materiál velmi podobný dřevěnému uhlí a podobná je i jeho výroba, která patří k nejstarším průmyslovým technologiím. Uhlík v biocharu je chemicky stabilní, a tedy

nepodléhá jinému rozkladu ani oxidaci v půdě (uhlík se dále neuvolňuje do atmosféry). (Břendová a kol., 2015)

Uhlík z biocharu se do půdy uvolňuje postupně v rozmezí 100 až 1 000 let, což je několikanásobně delší doba než u ostatních organických látek v půdě. Biochar se může zdát zprvu jako skvělá surovina, ale zatím nemáme dostatek informací o jeho účincích, když není vyroben ze dřeva, ale například z bioodpadu (zbytky plodin, hnůj). (Verheijen a kol., 2010)

3.2.1 Výroba biocharu

Biouhel vyrábíme za pomoci pyrolýzy nebo-li zplyňování biomasy. Hmotnost sušiny obsahuje 10–30 % biocharu. Generátory jsou vyrobeny na způsobu využití fluidní vrstvy, sesuvné nebo nehybné vrstvy částic biomasy, vertikální etážové pece s prohrabováním, vyhřívaného zařízení se šneky a žlaby, rotační pece, víceetážové generátory nebo další pyrolýzní zařízení s různou velikostí a s různým způsobem provozu. (Pohořelý a kol., 2019)

Důležité je zvolit si správné pyrolýzní zařízení. Volíme si ho na základě vstupních surovin, potřebné teplotě (nízkoteplotní, středněteplotní, vysokoteplotní pyrolýze), pracovním tlaku (přetlak, podtlak, normální tlak), dále také záleží na čase zdržení a rychlosti ohřevu biomasy. (Pohořelý a kol., 2019)

Při použití velmi vlhké biomasy musíme nejdříve zpracovat biomasu na požadovanou velikost a následně ji dát do nízkoteplotní sušárny ve které se biomasa předsuší a zbaví nadbytečné vlhkosti. (Pohořelý a kol., 2019)

Za účelem výroby biocharu se v zahraničních firmách používají pyrolyzéry s jedním nebo dvěma šneky. (Pohořelý a kol., 2019)

3.2.2 Použití biocharu

Biochar napomáhá v posledních suchých letech čím dál tím více jako porézní látka, která má za účel zadržovat vodu v půdě, a také vázat velké množství stabilního uhlíku, zabraňuje mu tedy unikat do atmosféry. Díky tomu, že biochar dokáže vázat uhlík a zadržovat ho v půdě nám napomáhá bojovat proti klimatickým změnám. Tato látka může do budoucna znamenat velký posun.

Biochar má velmi široké spektrum využití. Jedním z míst, kde biochar využíváme je zemědělství. Hlavním smyslem biocharu v zemědělství je jeho aplikace do půdy, kde jeho hlavními úkoly jsou:

- Zadržování vody a živin v půdě a jejich postupné uvolňování.
- Nadlehčování půdy (kypření).
- Zabránění průniku nežádoucích látek do podzemních vod.
- Zvýšení organické hmoty a tím napomáhá mimo jiné ke zvýšení mikrobiální aktivity.
- V prvních měsících obsahuje vyšší množství Ca (úprava pH v kyselých půdách).
- Podporuje růst a zabraňuje vstup kontaminantům do rostlin.
- Napomáhá zlepšovat podmínky pro pěstování vinné révy. (ČZU, 2019a)

Dále můžeme využít vysoce kvalitní biochar, který vykazuje konstantní vlastnosti, jako příměs do krmiv nebo jako samotné krmivo hospodářských zvířat. Studie prokázaly pozitivní nebo neutrální účinky např.:

- Zvýšení přírůstku zvířat.
- Zlepšení účinku krmiv.
- Lepší příjem potravy.
- U drůbeže zvyšuje snášku a zlepšuje kvalitu vajec.
- Posílení imunity zvířat (snížení veterinárních nákladů, zlepšení zdraví).
- Nižší mortalita.
- Nižší zápach zvířat.
- Zlepšení kvality masa a mléka. (ČZU, 2019b)

Biochar je vhodný i jako příměs při kompostování. Kompostování s biocharem děláme v několika vrstvách. Střídáme jednotlivé vrstvy biocharu a bioodpadu, musíme dávat pozor, aby biochar byl vždy dobře zakrytý a nedocházelo k jeho ztrátě prášením. Nejlepších výsledků dosáhneme při navlhčení biocharu, kdy do sebe začne vázat uvolněné živiny z kompostované biomasy.

Proč přidávat biochar do kompostu:

- Zkrácení doby samotného procesu kompostování.
- Zmírnění zápachu z kompostu.

- Zvyšuje retenci nutričních prvků.
- Zvyšuje pH kompostu. (ČZU, 2019c)

Biochar nachází své uplatnění také v lesnictví:

- Zvyšuje schopnost zadržování vody.
- Nadbytek kůrovcového dřeva lze použít jako výrobní materiál a zároveň je dřevo ekologicky zpracováno.
- Vyživující látka napomáhající k lepšímu růstu stromků v lesních školkách. (ČZU, 2019d)

Biochar v urbanizovaných oblastech, konkrétně v městských částech se používá především při boji s klimatickou změnou. Hlavní myšlenkou je co nejefektivněji využít a zadržet vodu v území, aby nedocházelo ke zbytečnému odvodu vody do kanalizací.

Potenciální využití pro biochar v městské zástavbě je následující:

- Botanické a zoologické zahrady.
- Fotbalová, dětská a golfová hřiště.
- Městské parky a ostatní zeleň.
- Vertikální zahrady a zelené střechy.
- Kořenové čistírny odpadních vod. (ČZU, 2019e)

Biochar lze využívat jako sorbent. Díky tomu, že povrch má vysokou reaktivitu (až stovky $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) a vysokou stabilitu je používán jako slibný odstraňovač kontaminantů, a to protože:

- Odstraňování pesticidů a dusičnanů (slouží jako levná náhrada filtru z aktivního uhlí).
- Upravuje pH v kyselých důlních vodách.
- Váže kovové ionty.
- Slouží jako pomocná látka při předčištění šedých vod.

Můžeme také zvolit různé modifikace, které nám pomohou z univerzálnit nebo zvýšit vazací účinnost biocharu:

- Chemická aktivace povrchu.

- Impregnace nanočásticemi.
- Magnetická impregnace.
- Povlakování povrchu sekundárními oxidy (Mn, Al, Fe). (ČZU, 2019f)

3.3 Mletí vlákniny

Papír je nám velmi dobře známá surovina, která má za sebou již dlouholetý vývoj. Jedna z prvních zmínek v historii se objevuje v souvislosti s papyrusem (Cyperus papyrus) v Egyptě. Vzdávající potřeba písemné komunikace mezi lidmi si vynutila vynález papíru a dalšími kroky k jeho dnešní podobě byly např. svítky nebo pergameny. (Kašpárková, 2012)

Avšak tak jako si Číňané chránili své jedinečné vynálezy, tak si střežili i vynález svého papíru. Přišli na to, že když naruší vlákna materiálu, zbaví jej vody a hmotu vysuší na sítěch, tak vznikne materiál, na který se dá psát. (Souček, 1977)

Princip, jenž vynalezli Číňané zůstává po tisíciletí, kromě drobných inovací v technologiích. (Souček, 1977)

Vlastnosti papíru a jeho povaha závisí především na způsobu mletí a druhu vláknitých surovin použitých při výrobě. Při mletí dochází ke změnám v buničinných vláknech, které dělíme na:

- Změny délek vláken způsobené příčným krácením a podélným štěpením
- Vnitřní fibrilace (uvolňování vnitřních vazeb vláken)
- Vnější fibrilace (uvolňování membrán a fibril z povrchu vláken)
- Vytváření slizu (crillu) při oddělování membrán a fibril z mateřských vláken (Souček, 1977)

Mletí nám mění specifické vlastnosti vlákniny, a tedy i samotnou papírovinu. U vzniklé papíroviny se nejčastěji stanovuje odvodňovací schopnost, koncentrace sušiny a množství tuhých látek. U papíroviny, která je částečně odvodněna určujeme schopnost zadržení vody, stanovení jednotlivé délky a šířky vláken a iniciální pevnost. (Souček, 1977)

Krácení vláken, vnější a vnitřní fibrilace, delaminace s hydratací a plastifikace vláken, to všechno se skrývá pod zpracování vláken nebo-li mletím. Po tomto postupu rozdělujeme papírovinu na ostře mletou papírovinu a mazlavě mletou papírovinu.

Ostrá papírovina může obsahovat buď dlouhé, hrubé vlákna nebo krátké a hrubé vlákna. Dlouhé nebo krátké tenké fibrily jsou znakem mazlavé papíroviny. Stupeň mletí se určuje podle metody Schoppera-Rieglera, a je to důležitá vlastnost při hodnocení kvality samotného papíru. S mletím je úzce spojeno nabobtnávání vláken, které může dosahovat hodnot okolo 10–22 %. Strojů k tomuto úkonu je více, ale nejpoužívanější jsou holandry, nebo ploché kuželové či diskové rafinéry. (Bučko a kol., 1988)

4. Experimentální část

4.1 Laboratorní zařízení

4.1.1 Holandr

Při výrobě papíru je nejdůležitější mletí vlákniny a jejich složek. Jedno z neznámějších zařízení na mletí je holandr, který je zobrazen na Obrázku 4.1. Tento stroj byl uveden do provozu již v druhé polovině 18. století. Holandr je složen z onoženého válce, velké oválné vany a pevného nože usazeného na dně vany. (Rychlík, 2002)



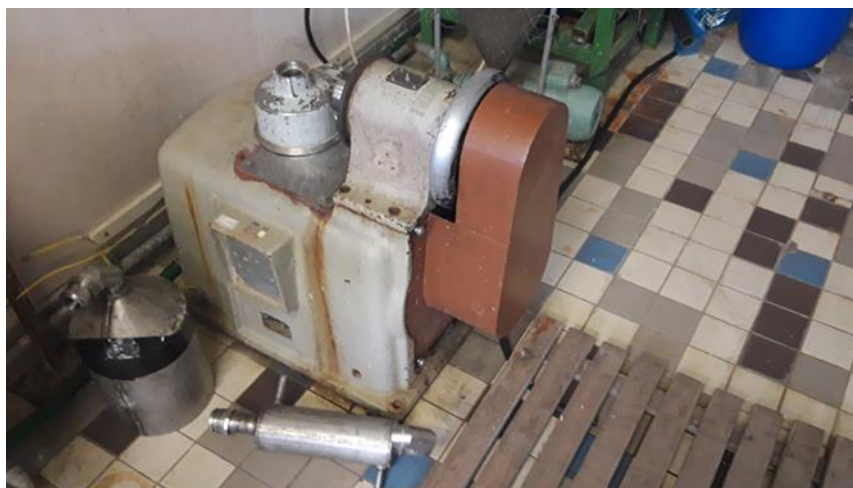
Obrázek 4.1: Holandr

4.1.2 MŠO – Mlým se šikmým onožením

MŠO – prstencový mlecí stroj se šikmým onožením, který je zobrazen na Obrázku 4.2. zpracovává papírenská vlákna univerzálním krátícím nebo fibrilačním mletím. Lze na něm nastavit i jiný žádaný způsob opracování. Nastavuje se rychlost rotoru nebo velikostní mezery. Při mletí je velmi důležitá mezera mezi funkčními orgány, která by měla být několikanásobně větší, než je tloušťka vláken (3–5× větší).

Mlecí stroj je sestaven z motoru o výkonu 3 kW, krytu, na kterém je umístěn mlecí stroj se šikmým onožením. Hřídel stroje se pohybuje v rozsahu několika milimetrů pomocí řídicího kola. Na rotoru jsou umístěné věnce nožů a rozdružovací nože

a naproti rotoru jsou umístěné kryty nožů statoru, do kterých se zasouvají nože rotoru. Do krytu statoru vstupuje a vystupuje zpracovaná suspenze. Pro laboratorní využití lze využít soustavy MŠO.



Obrázek 4.2: Mlýn se šikmým onožením

Postup mletí na MŠO:

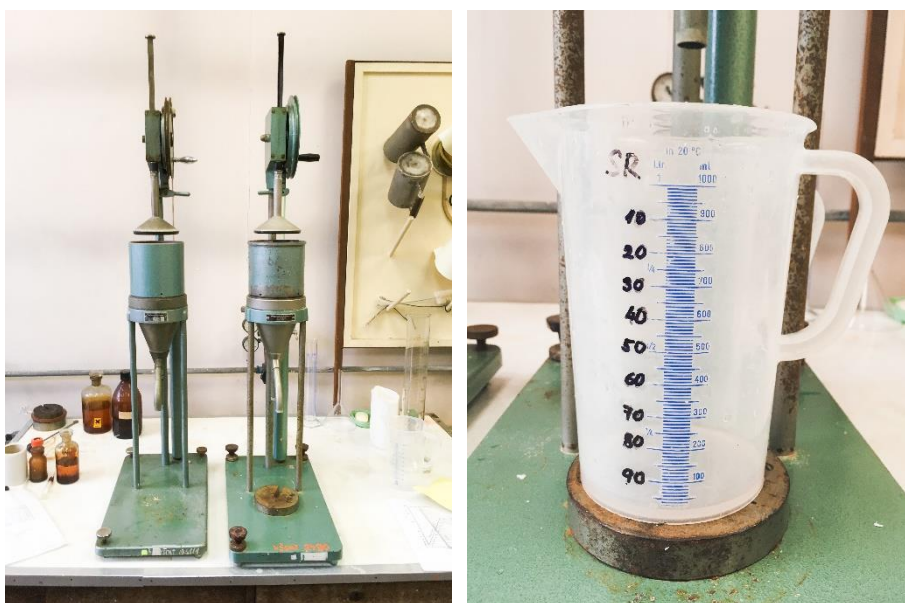
1. Mletí na MŠO volíme podle požadované konečné hmotnosti (volíme nádrž buď s 8 litry nebo s nádrží o objemu 27 litrů). Když chceme stanovit křivku buničiny, použijeme 200 ml suspenze. Toto množství stačí na zhotovení 2 zkušebních archů a stanovení stupně SR.
2. Výpočtem hmotnosti zjistíme množství sušiny dané suroviny tak, aby nám vznikla požadovaná konzistence. Sušinu poté rozvlákníme v laboratorním holandru.
3. Ještě před samotným mletím musíme zkontrolovat, zda je stroj MŠO v pořádku a vše funguje tak, jak má.
 - a) Zkontrolujeme, zda jsou mlecí orgány od sebe alespoň 2 milimetry.
 - b) Další část kontroly provádíme po několikadenním odstavení. Musíme zkontrolovat, jestli nedošlo k takzvanému zalepení monočerpadla. Zkoušku provádíme tak, že do čerpadla nalijeme 0,5 ml vody a čerpadlo na zlomek sekundy zapneme. Když se čerpadlo nerozběhne musíme rotor ručně odlepit.
 - c) V případě, že jsme splnili bod a, b můžeme pokračovat dál. Zapneme chod MŠO a pustíme monočerpadlo a začneme nalévat suspenzi do

nádržky. Abychom zamezili provzdušňování látky naplníme nádržku až po výtlačkové potrubí.

- d) Po vložení celého množství suspenze a zatížení stroje MŠO řídicím kolem nastavíme vhodnou mezeru. Mezeru nastavujeme podle použité buničiny. Pro jehličnatou dlouhovláknitou buničinu použijeme mezeru minimálně 0,18 mm. Pro listnatou krátkovláknitou buničinu se používá mezera, která není menší než 0,15 mm. U buničiny s velkým mlecím odporem začínáme mlít s větší mezerou. Mletí začínáme na výkonu $2\ 000\ \text{Ws}\cdot\text{km}^{-1}$ a vyšší, tato síla se využívá při krácení a předemílání sulfátové buničiny. Pro mletí s malým mlecím odporem využíváme příkon $1\ 500\text{--}2\ 000\ \text{Ws}\cdot\text{km}^{-1}$ a při domílání buničiny používáme příkon $1\ 200\text{--}1\ 500\ \text{Ws}\cdot\text{km}^{-1}$.
4. Při mletí zapisujeme hodnoty do tabulky (konzistence, čas, příkon, průtok, stupeň mletí, spotřeba energie, úbytek suspenze). Z vyrobených vzorků aršíků stanovujeme mechanické vlastnosti.
5. Když dosáhneme žádoucího stupně SR zvětšíme mlecí mezeru na 2 mm a látku odebereme z MŠO. Po odebrání látky ze zařízení ho důkladně vyčistíme a propláchneme čistou vodou. Vyčištění stroje je nezbytné a čím dříve ho provedeme, tím bude rychlejší a snadnější, když vyčištění neprovedeme včas zbytky buničiny na MŠO zaschnou a bude obtížné stroj vyčistit. (Milichovský a kol., 1981)

4.1.3 Schopperův-Rieglerův přístroj

U papíroviny se stanovuje odvodňovací schopnost způsobená stupněm mletí pomocí přístroje podle Schoppera-Rieglera. Přístroj je složen z kovové nálevky s dvěma výtokovými tubusy, na které se nasazuje válec, viz Obrázek 4.3. Dno válce je tvořené z napjatého síta o ploše 100 cm². Síto se přiklápí zvonem, který je opatřen pryžovým těsněním, aby nedocházelo k protečení suspenze. Zvon se zvedá za pomoci kladky s protizávažím.



Obrázek 4.3: Přístroje na měření stupně mletí podle Schoppera-Rieglera a nádoba obsahující Schopperovu-Rieglerovu stupnici

Pod výtokové trubice se umísťují kalibrované odměrné válce od 0 do 1000 ml. Vedle postranního tubusu jsou umístěné válce, které obsahují Schopperovou-Rieglerovou stupnici. (Souček, 1977)

4.1.4 Rozvlákňovač

Rozvláknění vlákniny bylo uskutečněno pomocí laboratorního rozvlákňovače typu Lorentzen & Wettres, který je uveden na Obrázku 4.4. Zařízení se skládá ze dvou částí. A to z elektromotoru, který je upevněn na podstavě a jeho příkon byl 0,5 kW. Hřídel elektromotoru je spojena s vertikální hřídelí míchadla, které bylo tvořeno třemi rovnými lopatkami a jeho průměr byl 90 mm. Druhou částí je rozvlákňovací nádoba vyrobená z nerezové oceli a vybavená čtyřmi spirálovými narážkami. Každá z nich se

nacházela na polovině vnitřního povrchu nádoby. Objem nádoby byl 4 litry, vnitřní průměr 155 mm a výška nádoby 210 mm.



Obrázek 4.4: Rozvlákňovač

4.1.5 Laboratorní archovač

Archovací stroj RAPID-KÖTHEN RK-2A, Obrázek 4.5, se skládal ze třech částí. První částí bylo zařízení pro tvorbu listu, kde se suspenze vlákniny (vody, biocharu a vlákniny) důkladně promísila, usadila a odvodnila na sítu. Druhou částí bylo zařízení pro přenos mokrého listu. A poslední částí byla sušící část, kde dochází k sušení laboratorního aršíku.



Obrázek 4.5: Laboratorní archovač

4.2 Mletí vlákniny

Postup mletí vlákniny byl fibrilační a probíhal podle následujícího postupu. Nejdříve byla vláknina namočená, u nasávané kartonáže byly namočeny vajíčkové proložky (Obrázek 4.7) a u nebělené buničiny její archy (Obrázek 4.6). Vláknina byla vložena do nádoby o objemu 10 litrů a ponechána 30 minut bobtnat. Po dostatečném nabobtnání vlákniny byla buničina nejprve mleta pomocí holandru, následovně až pomocí mlýnu se šikmým onožením. V případě nasávané kartonáže byla pouze rozvlákněna pomocí rozvláknovače, aby nedocházelo k tvorbě shluků vláken. Po mletí, respektive po rozvláknění byl stanoven obsah sušiny a stupeň mletí, obě tyto měření jsou popsány v následujících kapitolách.



Obrázek 4.6: Nebělená buničina



Obrázek 4.7: Nasávaná kartonáž – proložky na vejce

4.3 Stanovení obsahu sušiny

Na stanovení obsahu sušiny byl odebrán vzorek suspenze. Ze suspenze byla nejprve odstraněna voda, a to pomocí laboratorní vývěvy. Do vývěvy byl vložen filtrační papír, na který byl kvantitativně převeden vzorek suspenze o předem zvážené hmotnosti. Po odfiltrování přebytečné vody nám na filtračním papíru zůstal pouze vlhký vzorek bez přebytečné vody. Pro zjištění sušiny byl vzorek vložen do tzv. rychlosušárny, která simuluje stanovení sušiny podle normy za výrazně kratší dobu než 4 hodiny při 105 °C. Vysušený vzorek byl zvážen a byl dopočítán obsah sušiny podle vztahu

$$S = \frac{m_{a.s.}}{m_{v.s.}} \cdot 100, \quad (4.1)$$

kde $m_{a.s.}$ značí absolutně suchý vzorek v g a $m_{v.s.}$ vyjadřuje hmotnost vzorku, který byl použit pro analýzu v g. S , je obsah sušiny, který je v tomto případě vyjádřen v %.

4.4 Stupeň mletí

Pro stanovení stupně mletí byl použit měřicí přístroj Schoppera-Rieglera. Nejprve bylo vypočteno množství suspenze vlákniny pro stanovení, aby vzorek pro stanovení odpovídal 2 g absolutně suchých vláken. Toto vypočtené množství bylo v odměrném válci doplněno vodou na objem 1 litr. Po promíchání byla suspenze nalita do nálevky přístroje, přičemž byl zvon v dolní poloze. Po cca 5 sekundách byl zvon uvolněn a zvednut. Voda byla jímána do dvou plastových nádob, které byly opatřeny stupnicí

Schoppera-Rieglera. Jakmile postranním tubusem přestala voda odtékat, byla pomocí stupnice odečtena hodnota stupně mletí.

Stupeň mletí byl dopočítán z objemu proteklé vody podle rovnice

$$SR = \frac{1000 - V(H_2O)}{10}, \quad (4.2)$$

kde $V(H_2O)$ vyjadřuje objem vody v ml pod postranním tubusem. (Souček, 1977)

4.5 Aplikace pasty

Pasta tvořená biocharem dodaného firmou Zlatá Olešnice, byla vytvořena v poměru 1 : 3 k vodě. Ještě před tvorbou pasty byl biochar přesítován přes síto, které tvořila drátěná síť s otvory o straně oka 0,25 mm. K tvorbě pasty bylo naváženo 75 g předem přesítovaného biocharu a 225 g vody. Biochar byl kvantitativně převeden pomocí vody do třecí misky, kde byla následně vytvořena pastovitá hmota, kterou můžete vidět na Obrázku 4.8.

Pasta byla navážena tak, aby hmotnostní procenta biocharu u výsledných papercharů byly 0, 20, 40 a 60 %. Jelikož byla sušina biocharu 99,3 %, tak navážky pasty pro jednotlivá procentuální zastoupení jsou uvedena v Tabulce 4.1. Navážky pasty jsou totožné, jak pro aplikaci pasty do sekundární vlákniny, tak do primární vlákniny – nebělené buničiny.



Obrázek 4.8: Pasta tvořená vodou a biocharem

Tabulka 4.1 Procentuální zastoupení pasty v papercharu

Procentuální zastoupení biocharu, %	Plošná hmotnost archu, 200 g·m ⁻²	Plošná hmotnost archu, 400 g·m ⁻²
0	0	0
20	5	10
40	10	20
60	15	30

4.6 Rozvláknění pasty a vlákniny

Na základě stanovení sušiny suspenze bylo vypočteno množství vlákniny, aby její plošná hmotnost odpovídala 200 a 400 g·m⁻². Navážená vláknina i navážený biochar, byly kvantitativně vloženy do nádoby rozvláknovače. Vložené množství vlákniny bylo zalito cca 1,5 litrem vodovodní vody a po dobu 10 minut bylo rozvláknováno. Rozvlákněná suspenze byla následně přelita do již připraveného válce archovače, kde probíhala tvorbu listu archů.

4.7 Výroba papercharu na archovači

Dalším krokem je výroba samotných papercharových archů. Výroba probíhá na tzv. archovači. U archovače byl zapnut přívod vody a elektřiny a archovač se nechal 20 minut zapnutý, než na něm probíhala výroba aršíků. Do přístroje se vložilo síto a válec archovače se zajistil. Tvorba aršíků začínala zaplnění válce archovače cca 4 l vody, poté se přidala do válce suspenze (papírovina a biochar) rozvlákněná na rozvláknovači. Voda ve válci archovače byla vířena, odpuštěna a odsáta, teprve potom byl válec odjištěn a odklopen. Vytvořený list na sítu se překryl listem kartonu a volně přešel gaučovacím válcem tam a zpět, a to i v kolmém směru. Síto s překrytým listem bylo sejmuto, pomocí sklepnutí byl list přesunut na pogumovanou podložku a překryt krycím papírem. Takto vyrobený arch i s krycími vrstvami byl přesunut na sušící plotnu archovače, kde sušení probíhalo 15 minut při 95 °C. Následně byl arch sejmут ze sušící plotny, byly odstraněny krycí vrstvy a vyrobený arch byl zvážen za účelem zjištění plošné hmotnosti.

4.8 Stanovení obecných vlastností

Mezi jednu z nejdůležitějších vlastností papíru patří plošná hmotnost, a s touto veličinou ho můžeme zakoupit i v obchodech. Z ekonomických důvodů si zákazníci většinou kupují papír, který má tuto jednotku co možná nejnižší k danému účelu. Naopak výrobcům se vyplatí produkovat těžší gramáže.

Plošnou hmotnost můžeme definovat jako podíl hmotnosti materiálu k příslušné ploše a eviduje se v $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. Hodnoty se stanovují dle normy ČSN 50 0310, kdy musí být nejméně 10 platných vzorků o jejich celkové ploše alespoň $0,5 \text{ m}^2$ a jednotlivých $0,05 \text{ m}^2$.

Ke stanovení této veličiny se v praktických podmínkách používají kvadrantové váhy, která má stupnici hodnot, na které můžeme rovnou stanovit hodnoty plošné hmotnosti v $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. Tyto váhy jsou vyráběny v několika měřících rozsazích. Čím je měřící rozsah menší, tím je váha přesnější a citlivější. Aby váha vážila opravdu přesně je potřeba, aby samotná konstrukce váhy byla robustnější a vahadlo co nejcitlivěji seřizeno, také je dobré, když je váha opatřena aretací. U těchto vah je velice důležitá kontrola pravdivosti vážení, která se dělá tak, že se na vážící rameno místo sledovaného vzorku zavěsí závaží se známou hmotností. V celém rozsahu stupnice se musí naměřit alespoň tři použitelné vzorky. To, že je váha správně seřizena zjistíme porovnáním mezi hmotností použitého závaží a naměřené hodnoty plošné hmotnosti. Hodnoty by měly být stejné nebo s rozdílem maximálně 2 %. (Souček, 1977)

V našem případě jsme hodnoty plošné hmotnosti, m_s , stanovili výpočtem

$$m_s = \frac{m}{S} \cdot 10000, \quad (4.3)$$

kde m je hmotnost vzorku v g, S vyjadřuje plochu vzorku v cm^2 , které v případě laboratorních archů byla 314 cm^2 , protože průměr aršíku je 20 cm. Hodnoty plošných hmotností pro jednotlivé typy papercharů jsou uvedeny v kapitole Výsledky a diskuse. (Tappi, 2004)

4.9 Stanovení nečistot v podsítových vodách

Jelikož nás zajímalo, zda nějaký podíl biocharu neodchází do podsítových vod laboratorního archovače, tak bylo odebíráno určité množství podsítové vody pro vybrané vzorky papercharu, které dále bylo analyzováno.

Na sítu v archovači zůstaly pouze pevné složky suspenze a částice biocharu, které byly menší, než oka síta se mohly dostat do podsítových vod. Proto tato voda byla odebírána k analýze.

Postup odběru spočíval v tom, že vždy při výrobě jednoho archu bylo z laboratorního archovače vypuštěno 10 litrů podsítové vody, což byla voda obsažená ve válci archovače. Z těchto 10 litrů pak byl odebrán vzorek o objemu 1 litr, u kterého bylo provedeno gravimetrické stanovení nečistot.

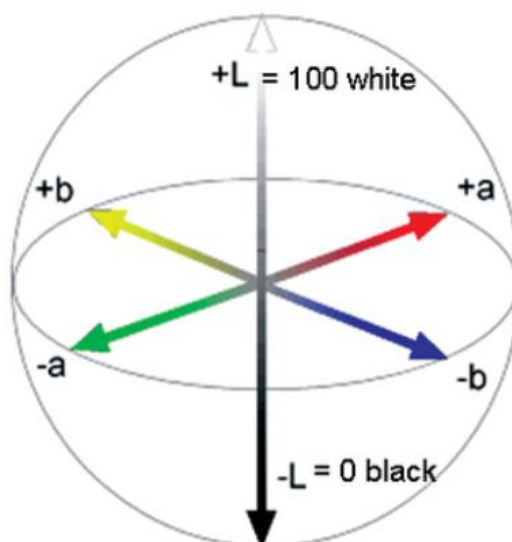
Gravimetrické stanovení začínalo filtrací pomocí vodní vývěvy přes předem zvážený absolutně suchý filtrační papír. Po filtraci byl filtrační papír se vzorkem přesunut do sušárny, kde byl sušen do konstantní hmotnosti. Množství nečistot, I , které odchází do podsítových vod bylo vypočteno podle vztahu

$$I = m_I - m_{fp}, \quad (4.4)$$

kde m_I vyjadřuje hmotnost filtračního papíru společně s nečistotami v g a m_{fp} je hmotnost filtračního papíru. Tyto hodnoty v kapitole Výsledky a diskuse jsou uvedeny i s přepočtem na původní dávku biocharu do suspenze.

4.10 Barevnost papercharu

Pro potřebu vyjádření barevnosti byl použit lineární kolorimetrický prostor CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) zkráceně CIELAB. Prostor CIELAB se používá pro různé materiály a je určen třemi vzájemně kolmými osami $L^*a^*b^*$, jak je zobrazeno na Obrázku 4.9. Tento barevný model je založený na lidském vnímání barev a číselné hodnoty popisují všechny barvy, které jsou lidským okem viditelné, tudíž se jedná o nezávislý barevný model. Tento barevný model má složku světlosti, L , a barevné komponenty. Barevná komponenta, a , popisuje zeleno-červené barevné komponenty a hodnota, b , popisuje modro-žluté barvené komponenty. (Visscher, 2010)



Obrázek 4.9: Kolorimetrický prostor CIELAB (Visscher, 2010)

Měření probíhalo při typu osvětlení D65 na spektrofotometru Konica Minolta CM-600d, který je zobrazen na Obrázku 4.10. Výsledky měření papercharů jsou uvedeny v hodnotách $L^*a^*b^*$ v kap. 5 Výsledky a diskuse.



Obrázek 4.10: Spektrometr Konica Minolta CM-600d

5. Výsledky a diskuse

5.1 Vlákna

Simulace výroby papercharu a její následné porovnání bylo provedeno, jak pro primární vlákninu, tak pro sekundární vlákninu. Jako primární vláknina byla použita nebělená buničina z jehličnatých dřevin, dodaná firmou Mondi Štětí, která byla mleta na různé stupně Schoppera-Rieglera. Sekundární vlákninou byla nasávaná kartonáž, respektive proložky na vejce, z firmy Huhtamaki.

5.1.1 Nebělená buničina – 20 SR

Jako první surovina použitá pro výrobu papercharu byla nebělená buničina, která se nechala pouze rozvláknit v holandru bez žádného dalšího mletí neboli tzv. panenská buničina. Do takto upravené buničiny byla přidána pasta a vyrobeny laboratorní aršíky. Na Obrázku 5.1 jsou zobrazeny archy o různém procentuálním zastoupení biocharu v buničině. Hodnota sušiny v suspenzi buničiny je zobrazena v Tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: Sušina suspenze nebělené buničiny mleté na 20 SR

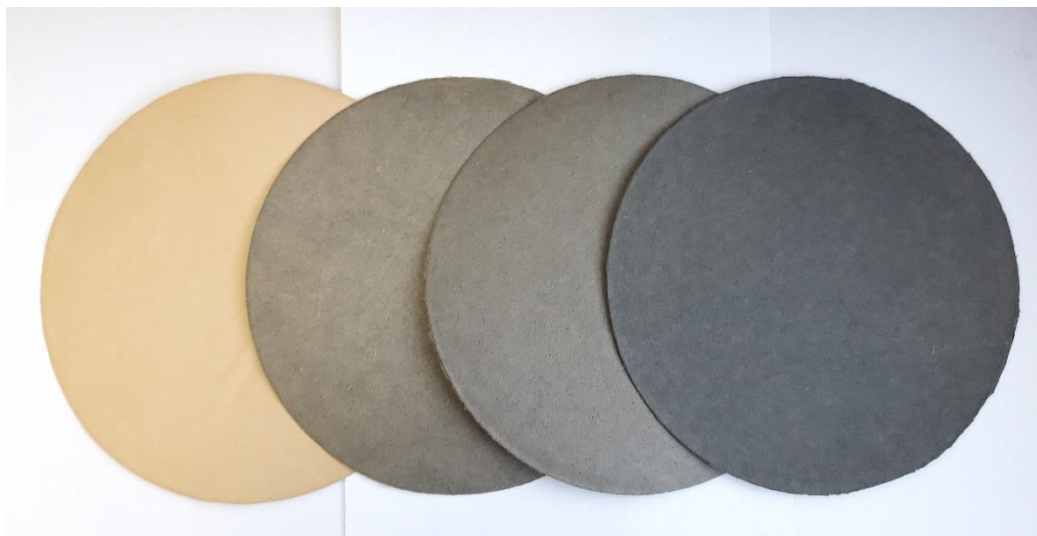
Veličina	Vzorek 1	Vzorek 2
Hmotnost mokré suspenze, g	65,11	43,49
Hmotnost absolutně suché suspenze, g	1,93	1,18
Sušina buničiny, %	2,96	2,71

Z tabulky je zřejmé, že průměrná sušina suspenze nebělené buničiny činila 2,84 %. Tato sušina byla použita pro výpočet hmotnosti buničiny na 1 arch, jak při plošné hmotnosti 200, tak 400 g·m⁻².

V našem případě výsledný arch má průměr 20 cm, tudíž jeho plocha bude 314 cm². Plošnou hmotnost také známe, tudíž můžeme dopočítat požadovanou hmotnost absolutně suchého archu, která byla pro 200 g·m⁻² 6,28 g a pro 400 g·m⁻² činila 12,56 g.

Z vypočítaných hmotností a průměrné sušiny suspenze byla dopočítána dávka při 0 % zastoupení biocharu, ta činila 222 g mokré suspenze pro výrobu archu o plošné hmotnosti 200 g·m⁻² a dvojnásobnou dávku pro plošnou hmotnost 400 g·m⁻². Z těchto

hodnot jsme si vypočetly dávky buničiny a biocharu pro jednotlivé procentuální zastoupení surovin.



Obrázek 5.1: Archy nebělené buničiny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) při stupni mletí 20 SR

Z obrázku 5.1 je patrné, že při 0 % zastoupení pasty (voda a biochar) je vzorek papíru nejsvětlejší. Vzorky č. 2 a 3 mají téměř stejnou barvu, která může být způsobena tím, že došlo k odplavení částic biocharu do podsíťových vod při samotné výrobě. Největší rozdíl však můžeme pozorovat u 4. archu, který obsahuje nejvíce biocharu, a tudíž by měl obsahovat i nejvíce živin. Z toho nám vyplývá, že při stupni mletí 20 SR je nejvíce výživný vzorek při 60 % zastoupení pasty.

5.1.2 Nebělená buničina – 40 SR

Tato surovina již byla mleta na mlýnu se šikmým onožením, a to tak, že původní buničina, viz kapitola 5.1.1 byla fibrilačně pomleta. Toto mletí se provedlo tím, že se zúžila štěrbina mezi onožením. Stejně jako u předešlé buničiny byla i do této přidána pasta složená z biocharu a vody. Hodnota sušiny v suspenzi buničiny je zobrazena v Tabulce 5.2. A na Obrázku 5.2 je zobrazeno procentuální zastoupení biocharu v buničině.

Tabulka 5.2: Sušina suspenze nebělené buničiny mleté na 40 SR

Veličina	Vzorek 1	Vzorek 2
Hmotnost mokré suspenze, g	51,89	42,46
Hmotnost absolutně suché suspenze, g	1,41	1,14
Sušina buničiny, %	2,71	2,68

Z tabulky je zřejmé, že průměrná sušina suspenze nebělené buničiny byla 2,79 %. Tato sušina byla použita pro výpočty stejně jako v předešlé kapitole 5.1.1.

Z vypočítaných hmotností a průměrné sušiny suspenze byla dopočítána dávka při 0 % zastoupení biocharu, která pro tento stupeň mletí byla 232 g mokré suspenze pro výrobu archu o plošné hmotnosti $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a 464 g pro plošnou hmotnost $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Z těchto hodnot opět byly spočteny hodnoty dávky buničiny a biocharu pro jednotlivé procentuální zastoupení surovin.



Obrázek 5.2: Archy nebělené buničiny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) při stupni mletí 40 SR

Z obrázku 5.2 je zřejmé, že je vlákna jemněji namletá. Dále si můžeme povšimnout nejsvětlejší barvy u papíru č. 1 stejně jako u předešlého obrázku. U vzorků č. 2, 3 a 4 je barva přibližně stejná, takže nemůžeme vizuálně rozpoznat, který z uvedených vzorků obsahuje nejvíce biocharu.

5.1.3 Nebělená buničina – 65 SR

Stupně mletí 65 SR jsme dosáhli ještě při větším zúžení prostoru mezi onožením na MŠO. Do takto umleté nebělené buničiny byla jako v předchozích dvou

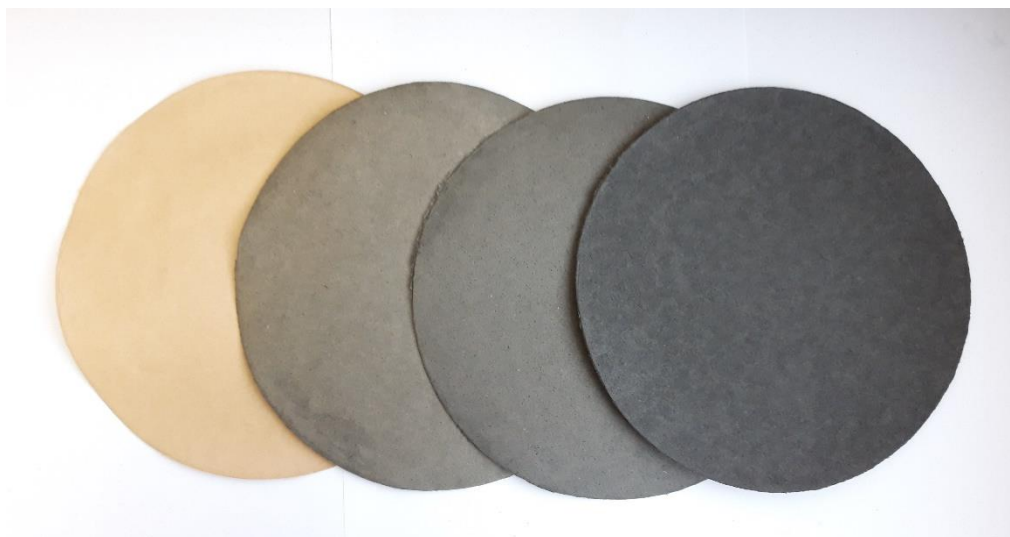
kapitolách aplikována pasta složená z vody a biocharu v různých hmotnostních navážkách. Hodnoty sušiny pro tento typ a mletí nebělené buničiny jsou uvedeny v Tabulce 5.3 a na Obrázku 5.3 jsou uvedeny výsledné archy.

Tabulka 5.3: Sušina suspenze nebělené buničiny mleté na 65 SR

Veličina	Vzorek 1	Vzorek 2
Hmotnost mokré suspenze, g	93,97	110,01
Hmotnost absolutně suché suspenze, g	1,84	2,19
Sušina buničiny, %	1,96	1,99

Z tabulky je stanovena průměrná sušina suspenze nebělené buničiny, která činila 1,98 %. Tuto hodnotu sušiny jsem dále využili pro výpočty.

Z průměrné sušiny suspenze byla dopočítána dávka při 0 % zastoupení biocharu, která pro tento stupeň mletí činila 318 g mokré suspenze pro výrobu archu o plošné hmotnosti $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a v případě plošné hmotnosti $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ byla tato hodnota dvojnásobná, tudíž 636 g. Z těchto hodnot opět byly dopočítány hodnoty dávky buničiny a biocharu pro jednotlivé archy při různém procentuální zastoupení surovin (biocharu a nebělené buničiny).



Obrázek 5.3: Archy nebělené buničiny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) při stupni mletí 65 SR

Obrázek 5.3 zobrazuje archy nebělené buničiny, stejně jako u předchozích Obrázku 5.1 a Obrázku 5.2 je patrné, že vzorek č.1 je opět nejsvětlejším. Dále u vzorků pozorujeme jemnost namleté suroviny, v našem případě buničiny. Vzorky č. 2 a 3 jsou si velice podobné. Největší rozdíl je pozorovatelný u vzorku č. 4, kde můžeme jasně

vidět největší zastoupení aplikovaného biocharu, díky jeho nejtmaší barvě. V porovnání s obrázky 5.1 a 5.2 je viditelné, že vzorek č. 4 při stupni mletí 65 SR je celkově nejtmaším vzorkem ze všech vyrobených, což dokazuje jeho největší výživnost.

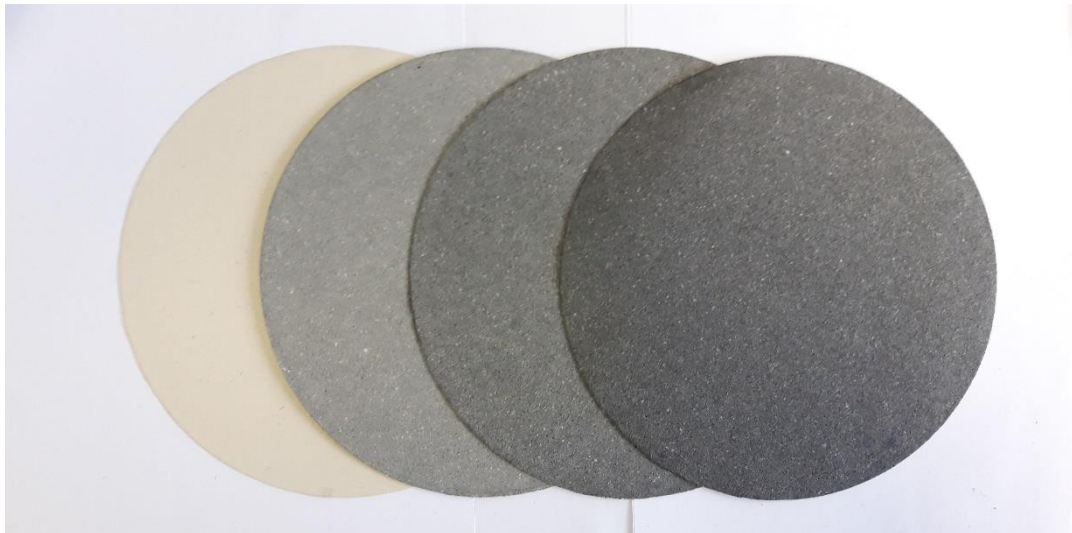
5.1.4 Nasávaná kartonáž

Jako sekundární vlákna byly použity proložky na vejce. Takto vyrobená nasávaná kartonáž stejně jako v případě buničiny se nechala nejprve nabobtnat ve vodě a poté byla vlákna vytvořena pomocí rozvláknění na rozvlákňovači. Stejně jako u předchozích surovin, byl i u této stanoven stupeň mletí, který v tomto případě byl 35 SR. Proces aplikace pasty byl totožný jako u nebělené buničiny. Hodnoty sušiny zobrazuje Tabulka 5.4 a Obrázek 5.4 ukazuje archy z nasávané kartonáže v různém procentuálním zastoupení množství biocharu.

Tabulka 5.4: Sušina suspenze nasávané kartonáže

Veličina	Vzorek 1	Vzorek 2
Hmotnost mokré suspenze, g	100,00	174,54
Hmotnost absolutně suché suspenze, g	2,90	5,36
Sušina buničiny, %	2,90	3,07

Průměrná sušina pro nasávanou kartonáž byla 2,99 %. Z vypočtených hmotností a průměrné sušiny suspenze byla dopočtena dávka nasávané vlákniny na jeden arch při 0 % zastoupení biocharu, ta byla 210 g mokré suspenze pro výrobu archu o plošné hmotnosti $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a 420 g pro plošnou hmotnost $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Z těchto hodnot se dále počítaly dávky biocharu a nasávané kartonáže pro jednotlivé procentuální dávky biocharu a vlákniny.



Obrázek 5.4: Archy nasávané vlákniny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %)

Obrázek 5.4 oproti nebělené buničině je nasávaná vláknina na pohled o něco bělejší. Na obrázku lze jasně rozeznat procentuální zastoupení aplikovaného biocharu v archu. Jako u předchozích obrázků je nejsvětlejší papír ten, který neobsahuje žádný podíl biocharu a naopak ten nejtmaší obsahuje největší množství biocharu a to 60 %.

5.2 Vlastnosti papercharu

Stanovované vlastnosti pro oba typy vlákniny byly popsány již v experimentální části. V této části práce jsou uvedeny jejich výsledky, jak plošná hmotnost, či barevnost vlákniny, tak i nečistoty v podsítových vodách.

5.2.1 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost, m_s , byla dopočtena podle vztahu (4.3) a hodnoty pro námi používané vlákniny jsou uvedeny v Tabulkách 5.5 až 5.12.

Tabulka 5.5 Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 20 SR pro dávku buničiny odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	6,548	7,998	8,661	9,017
Plošná hmotnost, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	208,54	254,71	275,83	287,17
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	15,85	29,07	41,78

Tabulka 5.6 Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 20 SR pro dávku buničiny odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	12,383	15,172	17,301	20,074
Plošná hmotnost, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	394,36	483,18	550,99	639,30
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	16,58	29,99	37,34

Tabulka 5.7 Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 40 SR pro dávku buničiny odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	6,586	7,358	8,764	10,494
Plošná hmotnost, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	209,75	234,33	279,11	334,20
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	17,16	28,64	35,69

Tabulka 5.8 Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 40 SR pro dávku buničiny odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	13,470	14,787	16,984	19,986
Plošná hmotnost, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	428,98	470,92	540,89	636,50
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	17,16	29,63	37,44

Tabulka 5.9 Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 65 SR pro dávku buničiny odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	7,159	8,621	10,174	11,891
Plošná hmotnost, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	227,99	274,55	324,01	378,69
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	14,64	24,43	31,52

Tabulka 5.10 Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 65 SR pro dávku buničiny odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	11,484	12,402	13,098	–
Plošná hmotnost, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	365,73	394,97	417,13	–
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	10,22	19,22	–

Tabulka 5.11 Plošné hmotnosti nasávané vlákniny pro dávku odpovídající 200 g·m⁻²

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	6,031	5,911	5,543	6,335
Plošná hmotnost, g·m ⁻²	192,07	188,25	176,53	201,75
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	21,15	45,10	59,19

Tabulka 5.12 Plošné hmotnosti nasávané vlákniny pro dávku odpovídající 400 g·m⁻²

Požadované zastoupení biocharu, %	0	20	40	60
Hmotnost archu, g	13,588	13,447	12,649	12,211
Plošná hmotnost, g·m ⁻²	432,74	428,25	402,83	388,89
Skutečné zastoupení biocharu, %	0	18,59	39,53	61,42

5.2.2 Množství nečistot v podsítových vodách

Při výrobě laboratorních archů bylo odebráno pro vybrané vzorky i množství nečistot, které nám odchází do podsítových vod. Toto množství bylo stanoveno pomocí filtrace, jak je popsáno v kapitole 4.9. Tato analýza byla prováděna pro nebělenou buničinu umletou na 20 a 40 SR a pro nasávanou vlákninu, hodnoty množství nečistot pro jednotlivé typy vlákniny jsou uvedeny v Tabulce 5.13 až 5.15.

Tabulka 5.13 Množství nečistot v podsítových vodách u nebělené buničiny – 20 SR

Procentuální zastoupení biocharu, %	20	40	60
Množství nečistot v 1 l, g	0,062	0,068	0,135
Zanáška BC, g	5	10	15
Celkové množství nečistot v podsítových vodách, %	0,124	0,068	0,090

Tabulka 5.14 Množství nečistot v podsítových vodách u nebělené buničiny – 40 SR

Procentuální zastoupení biocharu, %	20	40	60
Množství nečistot v 1 l, g	0,042	0,070	0,088
Zanáška BC, g	5	10	15
Celkové množství nečistot v podsítových vodách, %	0,084	0,070	0,059

Tabulka 5.15 Množství nečistot v podsítových vodách u nasávané vlákniny

Procentuální zastoupení biocharu, %	20	40	60
Množství nečistot v 1 l, g	0,033	0,100	0,138
Zanáška BC, g	5	10	15
Celkové množství nečistot v podsítových vodách, %	0,066	0,100	0,092

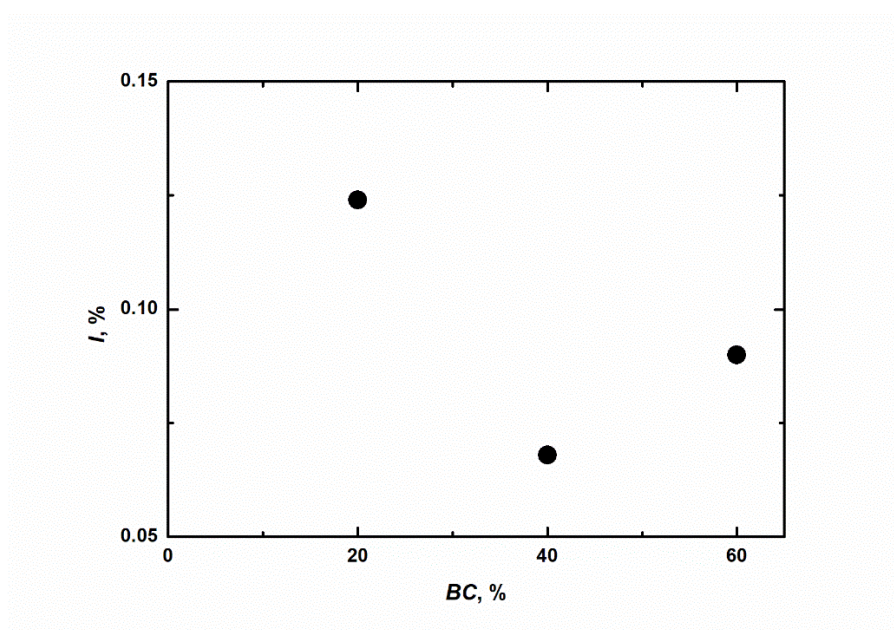
Z Tabulek 5.13 až 5.15 vyplývá, že největší množství podsítových nečistot při procentuálním zastoupení 20 % biocharu je obsažené ve vodách u nebělené buničiny při stupni mletí 20 SR, naopak u vod odcházejících z nasávané vlákniny je podíl nečistot až o polovinu nižší.

U 40 % zastoupení biocharu je to právě naopak než u 20 % zastoupení. Nejvíce nečistot odchází do podsítových vod právě u nasávané vlákniny.

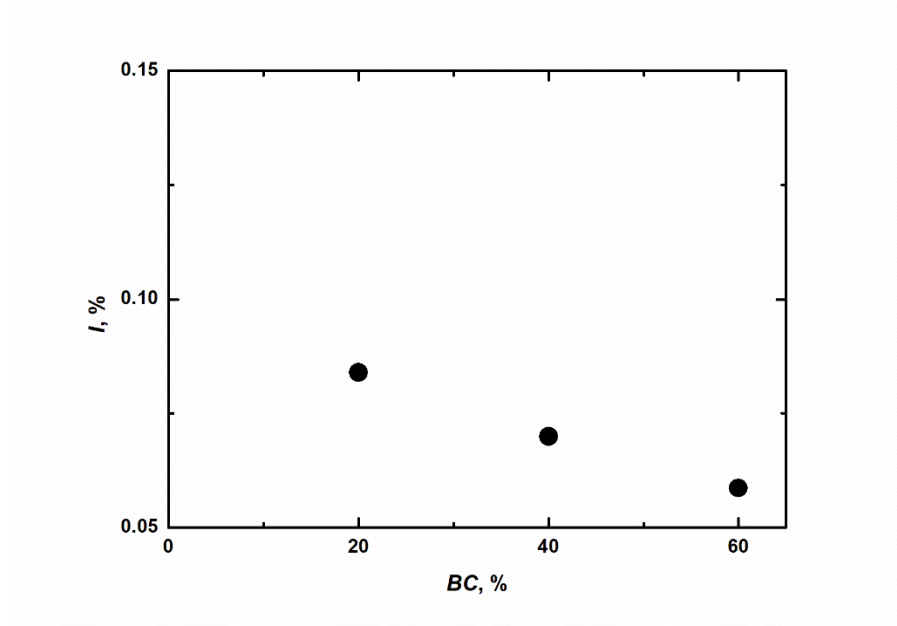
Při 60 % zastoupení biocharu v nebělené buničině mleté na 20 stupňů SR a nasávané vláknině jsou si, v množství nečistot v podsítových vodách, velice podobné. Nejméně nečistot odchází z nebělené buničiny mleté na 40 SR.

Podle námi dosažených výsledků se průměrně do vody dostalo nejméně nečistot při stupni mletí 40 SR. Jako druhý byl stupeň mletí 20 SR a nejhorší v odplavení nečistot do podsítových vod je nasávaná vláknina.

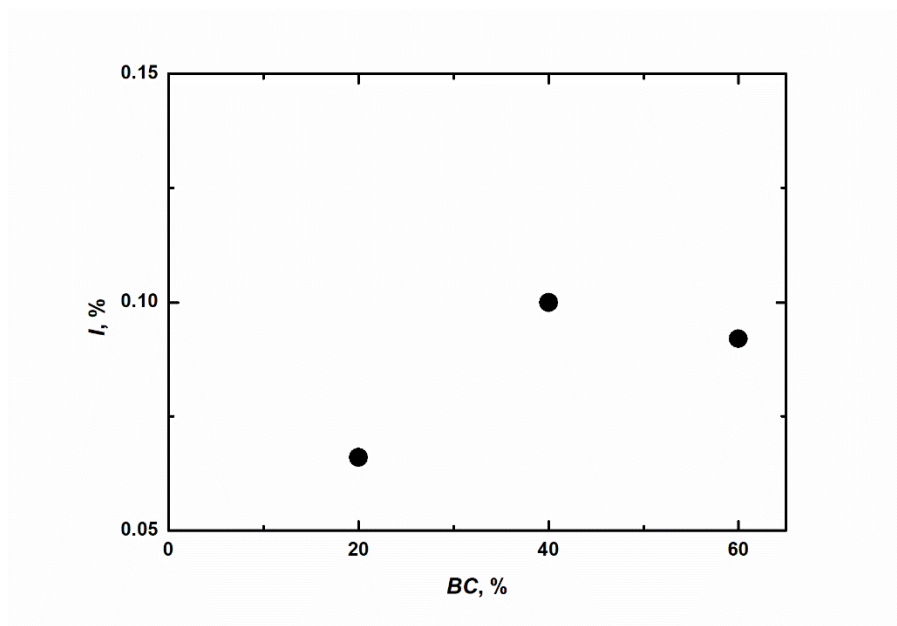
Pro lepší viditelnost jsou jednotlivé závislosti znázorněny graficky Obrázek 5.5 až 5.7.



Obrázek 5.5: Závislost nečistot v podsítových vodách na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 20 SR



Obrázek 5.6: Závislost nečistot v podsíťových vodách na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 40 SR



Obrázek 5.7: Závislost nečistot v podsíťových vodách na zanášce biocharu u nasávané kartonáže

Na Obrázku 5.5 je jasně zřejmé, že nejvíce nečistot do podsíťových vod odchází při stupni mletí 20 SR a aplikované dávce biocharu 20 %. Naopak nejméně nečistot pronikajících do podsíťových vod najdeme u biocharu s obsahem 40 %.

U obrázku 5.6 je tento vztah sestupný, nejvíce biocharu pronikajícího do podsíťových vod je u archu se zanáškou 20 % biocharu a nejméně u archu s 60 %.

U grafu nasávané kartonáže vidíme, že nejmenší průnik máme u archu s 20 % biocharu a největší průnik do podsíťových vod je u 40 % biocharu.

Nejvhodnější arch je tedy při stupni mletí 40 SR a obsahu biocharu 60 %, popřípadě 40 %.

5.2.3 Barevnost

Barevnost byla měřena pomocí hodnot L , a , b . Hodnoty pro jednotlivé typy papercharů jsou uvedeny v Tabulce 5.16 až 5.19 a jsou porovnány s původním papírovým aršíkem bez přídavku biocharu.

Tabulka 5.16 Hodnoty L , a , b pro nebělenou buničinu umletou na 20 SR

Zanáška BC		0	20	40	60
200 g·m ⁻²	L	64,91	45,54	43,56	32,29
	a	6,30	0,05	0,12	-0,13
	b	23,10	7,77	7,18	3,49
400 g·m ⁻²	L	66,87	49,01	36,67	25,79
	a	6,28	0,36	-0,03	6,07
	b	23,67	9,9	-0,03	3,80

Tabulka 5.17 Hodnoty L , a , b pro nebělenou buničinu umletou na 40 SR

Zanáška BC		0	20	40	60
200 g·m ⁻²	L	62,36	44,02	39,06	29,62
	a	6,69	0,04	-0,11	-0,13
	b	22,77	7,18	5,45	2,97
400 g·m ⁻²	L	63,73	36,66	25,25	19,92
	a	6,55	-0,14	0,04	0,12
	b	22,78	3,93	3,12	2,92

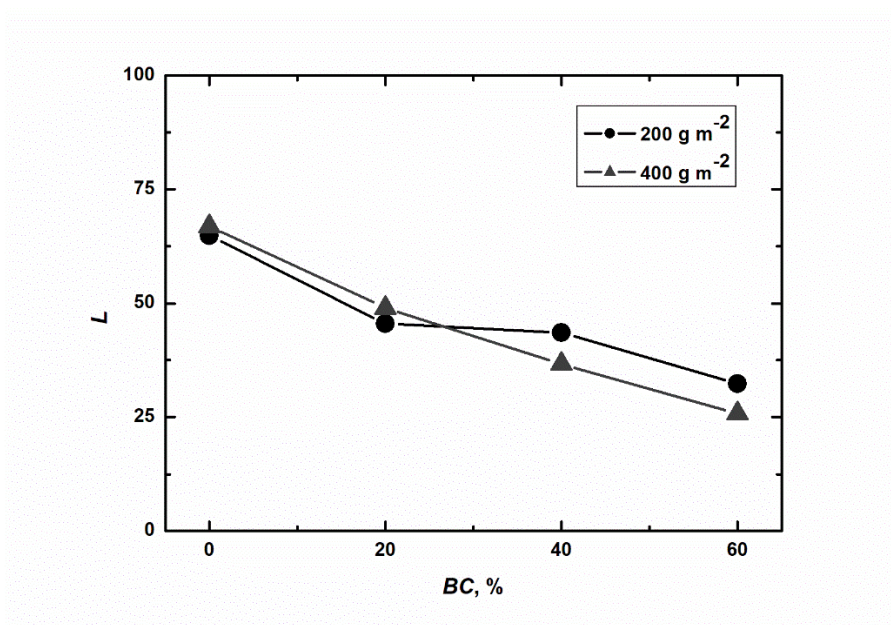
Tabulka 5.18 Hodnoty L , a , b pro nebělenou buničinu umletou na 65 SR

Zanáška BC		0	20	40	60
200 g·m ⁻²	L	62,81	41,66	30,80	26,62
	a	6,61	-0,14	-0,03	0
	b	22,41	4,86	2,54	2,46
400 g·m ⁻²	L	60,95	37,66	24,12	–
	a	6,82	-0,02	-0,01	–
	b	22,33	4,88	3,09	–

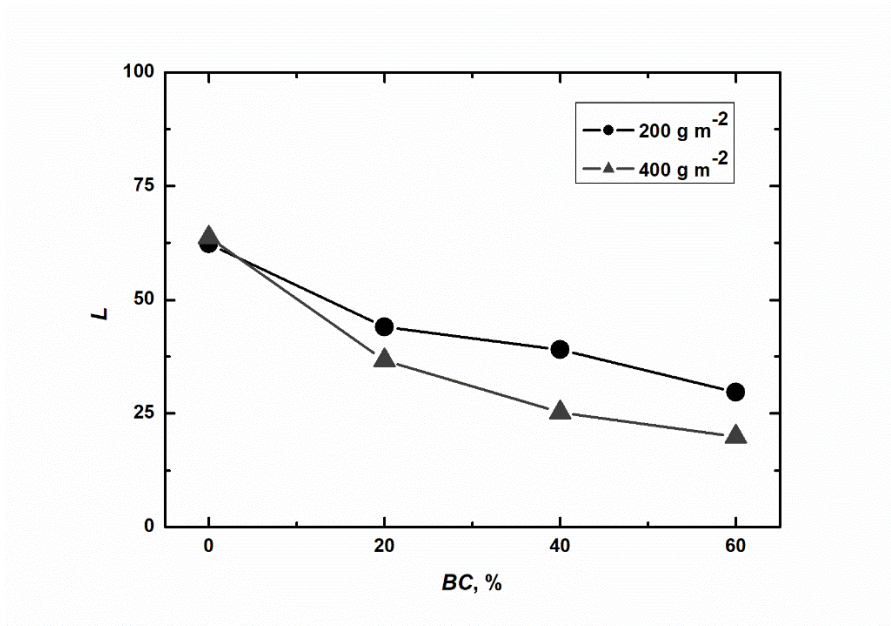
Tabulka 5.19 Hodnoty L , a , b pro nasávanou kartonáž

Zanáška BC		0	20	40	60
200 g·m ⁻²	L	81,94	57,48	41,77	32,39
	a	-0,20	-0,64	-0,36	-0,21
	b	8,78	1,05	0,58	0,64
400 g·m ⁻²	L	82,23	55,36	37,03	32,00
	a	-0,18	-0,70	-0,35	-0,24
	b	8,73	1,48	0,25	0,89

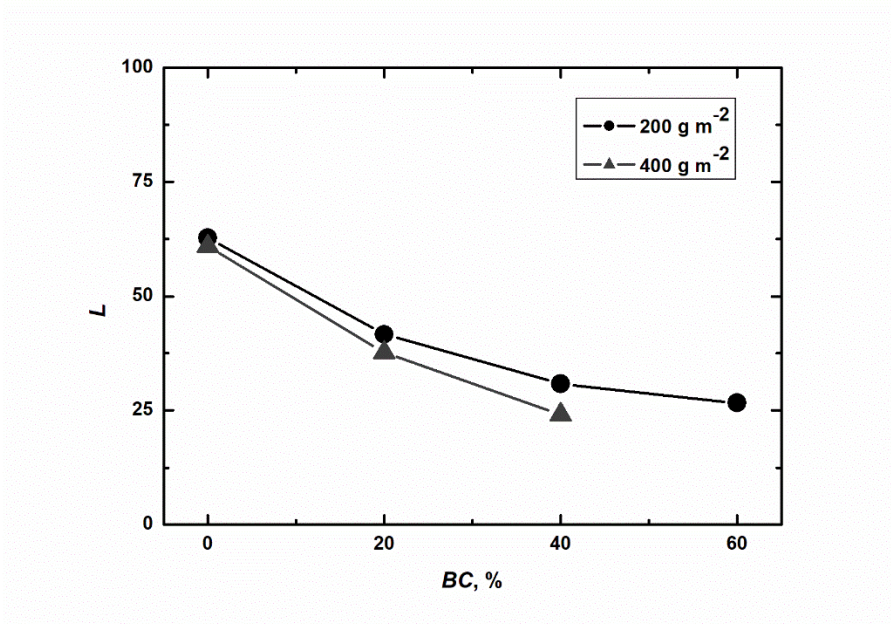
Pro lepší přehlednost z hodnot L , a , b byly vytvořeny grafy pro světlost, tedy hodnotu L v závislosti na zanášce biocharu. Grafy jsou zobrazeny na Obrázku 5.8 až 5.11 pro jednotlivé typy vlákniny použité pro výrobu papercharu a graf na Obrázku 5.12 uvádí porovnání všech typů vláknin použitých pro výrobu papercharu.



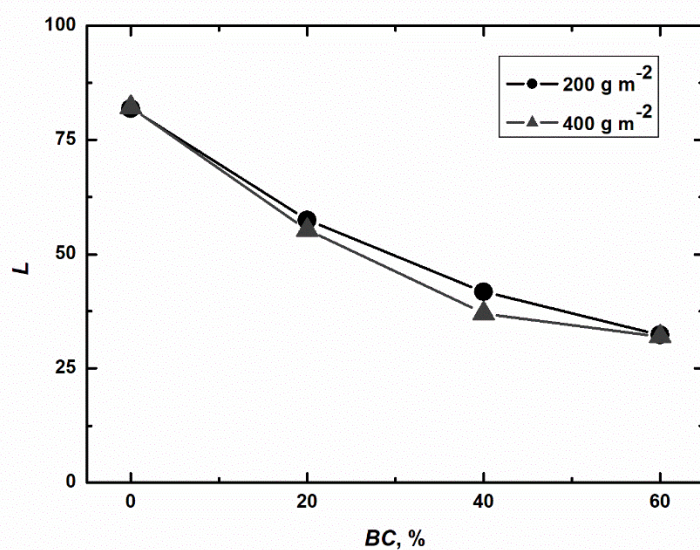
Obrázek 5.8: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 20 SR



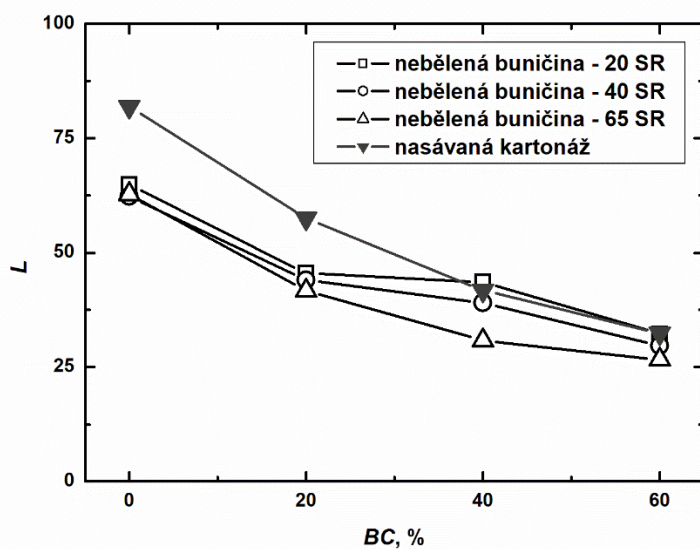
Obrázek 5.9: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 40 SR



Obrázek 5.10: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 65 SR



Obrázek 5.11: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nasávané kartonáže



Obrázek 5.12: Porovnání závislostí světlosti papercharu na zanášce biocharu

Podle posledního grafu 5.12: si můžeme potvrdit tvrzení z Obrázku 5.1 až 5.4, že Obrázek 5.4 (nasávaná vláknina) je nejsvětlejší ze všech vyrobených archů s nulovým obsahem biocharu. Dále můžeme pozorovat, že u 60% zastoupení biocharu dochází k téměř stejným hodnotám světlosti. Od začátku je nejtmavší nebělená buničina při stupni mletí 65 SR. Zcela nejtmavším vzorkem ze všech je ovšem arch mletý na stupni 65 SR a s obsahem 60 % biocharu.

5.3 Diskuse

Tato práce se zabývá simulací výroby papírenské vlákniny z kůrovcové kalamity za účelem udržitelnosti lesního hospodářství. V první části práce jsem se zabýval teoretickou částí, proč toto téma vůbec otevírat, co to znamená do budoucna, a jak nám může být prospěšná papírenská vláknina jako nosič biocharu.

V současné době se potýkáme s kůrovcovou kalamitou, která zapříčinila nadbytek kůrovcového dřeva. Toto dřevo ve většině případů končí ve spalovnách, kde slouží jako palivo pro výrobu tepla. Spalování dřeva přispívá k tvorbě skleníkových plynů, které se podílejí na globálním oteplování Země. Proto mi přišlo vrácení dřeva v různých podobách zpět do přírody, jako dobrý nápad. Biochar se vyrábí pomocí pyrolýzy, díky které nevznikají skleníkové plyny, ale uhlík zůstává vázaný přímo v biouhlu.

V experimentální části jsem se zabýval samotnou výrobou papercharových archů, kde jsem porovnával sekundární vlákninu s vlákninou primární. Domníval jsem se, že primární vláknina bude lépe vázat částice biocharu. To bylo dokázáno právě měřením barevnosti. Když se do nebělené primární buničiny dostalo větší množství biocharu než do nasávané kartonáže při stejné zanášce biocharu.

U podsítových vod jsem se nejprve domníval, že vysoké množství biocharu přechází právě do nich. Výsledky měření množství, které přešlo mě mile překvapily, jelikož do posítových vod přechází méně, jak 0,1 %.

V poslední kapitole jsem se zabýval měřením barevnosti vyrobených papercharových archů. K zjištění barevnosti jsem používal přístroj spektrometr Konica Minolta CM-600d. Ve výsledku mě překvapilo, jaký barevný rozdíl je pozorovatelný mezi nasávanou a nebělenou vlákninou. Osobně jsem nečekal, že nebělená buničina oproti nasávané buničině s nulovým nasycením biocharu je barevně výraznější.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provedení simulované výroby papercharových archů, kde jsem se pokoušel zjistit, jaký druh vlákniny je pro výrobu archů ten nejlepší. Avšak tomuto rozhodnutí předcházela proces stanovení stupně mletí SR podle Schoppera-Rieglera a procentuální zastoupení biocharové pasty.

Při výrobě archů jsem měl k dispozici dva materiály, a to nebělenou buničinu a nasávanou vlákninu. Po provedení celého výzkumu jsem se dopracoval k odpovědi, která z těchto alternativ je nejvhodnější pro výrobu archů. Jako vhodnější vstupní surovina se mi jeví nebělená buničina, protože nasávaná nebo-li sekundární vláknina má menší schopnost na sebe vázat částice biocharu. Tím by celá myšlenka výzkumu postrádala smysl. Tento fakt způsobil, že v laboratorním měřítku docházelo k větší ztrátě nečistot do podsíťových vod, a to by ve velkých provozech mohlo způsobovat značné problémy.

Jednou z částí výzkumu bylo i již výše zmiňovaný stupeň mletí SR. U vlákniny mleté na 65 SR docházelo k odvodňovacím problémům, což by ve výrobě znamenalo vyšší finanční náročnost, jak při mletí, tak i odvodňování. Proto bych takto namletou buničinu nezařazoval do výroby. Pro výrobu se jeví jako ideální vláknina mletá na 40 SR jak z hlediska finančního, tak i výrobního.

Další otázkou bylo optimální dávkování aplikované pasty biocharu. Příliš vysoké dávky způsobují problémy s formováním archů, a naopak nízké dávky nejsou schopny natolik vyživit půdu, aby se výroba vyplatila. Z tohoto důvodu je i zde nejlepší střední cesta, která má optimální hodnoty 35 až 40 % biocharu.

Výsledky dosažené v této práci potvrdily, že paperchar lze vyrobit, ale za určitých podmínek, a to že optimální je použít nebělenou sulfátovou buničinu s přídavkem biocharu okolo 35 až 40 % umletou na 40 SR.

V další etapě výzkumu by pak bylo vhodné se zaměřit na mechanické vlastnosti papercharu, pokud by se používal pro výrobu kořenáčů, tzv. gifipotů. A také by bylo dobré se zaměřit na rozpustnost, respektive degradabilitu materiálu, pokud by se gifipoty průmyslově využívaly. Další otázkou tohoto výzkumu zůstává, zda by půdu více nevyživila pasta tvořená např. vermitea, nebo zda by se do papercharů nedaly aplikovat mikroorganismy, které dodají rostlinám více živin.

7 Seznam použitých zdrojů

1. BŘENDOVÁ, K., TLUSTOŠ, P., SZÁKOVÁ, J., BOHUNĚK, M., 2014: Využití biouhli (biocharu) k úpravě půdních vlastností (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>.
2. BUČKO, J., ŠUTÝ, L., KOŠÍK, M., 1988: Chemické spracovanie dreva. Alfa, Praha, 310 s.
3. ČZU, 2019a: Biochar v zemědělské půdě (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15155-biochar-v-zemedelske-pude/biochar-v-zemedelske-pude.html>
4. ČZU, 2019b: Biochar jako krmivo (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15157-biochar-jako-krmivo/biochar-jako-krmivo.html>
5. ČZU, 2019c: Biochar v kompostu (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15156-biochar-v-kompostu>
6. ČZU, 2019d: Biochar v lesnictví (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15185-biochar-v-lesnictvi/biochar-v-lesnictvi.html>
7. ČZU, 2019e: Biochar v urbánních oblastech (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15186-biochar-v-urbannich-oblastech/biochar-v-urbannich-oblastech.html>
8. ČZU, 2019f: Biochar jako bio sorbent (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15159-biochar-jako-sorbent/biochar-jako-bio-sorbent.html>
9. GEBRTOVÁ, J., KADERÁBEK, V., 1983: Zpracování papíru a lepenky. Vysoká škola chemicko-technologická, Pardubice, 142 s.
10. KAŠPÁRKOVÁ, L., 2012: Papír, historie jeho výroby a ruční výroba papíru. (online) [cit. 2021.02.15]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/Technologie_grafiky_I/VY_32_INOVACE_A-02-01.pdf
11. KINDL, J., 2016: Výroba buničiny a papíru | MeziStromy.cz. Lesnicko-dřevařský vzdělávací portál. (online) [cit. 2021.02.04]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/materialy-na-bazi-dreva/vyroba-buniciny-a-papiru->
12. MILICHOVSKÝ, M., 1979: Návod pro laboratorní práce z chemické technologie papíru a celulózy – 1.část. VŠCHT Pardubice, Pardubice, 133 s.

13. MILICHOVSKÝ, M., MURCKOVÁ, E., KADEŘÁBEK, V., GEBRTOVÁ, J., TOMIS, B., KRÁL, Z., 1981: Návod pro laboratorní cvičení z chemické technologie papíru a celulózy. Vysoká škola chemickotechnologická v Pardubicích, Pardubice, 133 s.
14. POHOŘELÝ, M., SEDMIHRADSKÁ, A., TRAKAL, L., JEVIČ, P., 2019: Biochar – výroba, vlastnosti, certifikace, použití | Waste forum. (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2019/042.pdf>
15. RYCHLÍK, J., 2002: Výroba papíru v novověku (online) [cit. 2021.03.09] dostupné z: <https://crg.cz/sekce/historie/referaty/novovek/papir.htm>
16. SINDIBALDI, F. J., WENNER, S. R., 1982: “Can the TAPPI Bore Test Measure Moisture Accurately?”. Tappi Journal 65/3, 103–105.
17. SIXTA, H., 2006: Handbook of pulp. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 1369 s. ISBN 3-527-30999-3.
18. SOUČEK, M., 1977: Zkoušení papíru. SNTL, Praha, 338 s.
19. ŠELIGA, V., 2020: Kůrovcová kalamita je již nezastavitelná. Do roku 2021 přijdeme o půlku původních smrků | Echo24.cz. (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://echo24.cz/a/SQjfd/kurovcova-kalamita-je-jiz-nezastavitelna-do-roku-2021-prijdeme-o-pulku-puvodnich-smrku>
20. TRIDAS s.r.o., 2021: Nasávaná kartonáž, výroba obalů (online) [cit. 2021.02.15], dostupné z https://www.tridas-pulp.cz/?gclid=EAIaIQobChMIImq3x0_zr7gIV4EeRBR2V9gxmEAAYASAAEgK0kvD_BwE
21. VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., DIAFAS, I., 2010: Biochar Application to Soils. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 166 s. ISBN 978-92-79-14293-2.
22. VISSCHER, M. O., 2010: Imaging skin: past, present and future perspectives. G Ital Dermatol Venereol 145/1, 11–28.
23. Tappi Test Methods, 2004. Tappi Press Atlanta, Georgia. ISBN 1-930657-33-1.

Seznam obrázků

Obr. 4.1: Holandr (str. 23)

Obr. 4.2: Mlýn se šikmým onožením (str. 24)

Obr. 4.3: Přístroje na měření stupně mletí podle Schoppera-Rieglera a nádoba obsahující Schopperovu-Rieglerovu stupnici (str. 26)

Obr. 4.4: Rozvlákňovač (str. 27)

Obr. 4.5: Laboratorní archovač (str. 28)

Obr. 4.6: Nebělená buničina (str. 28)

Obr. 4.7: Nasávaná kartonáž – proložky na vejce (str. 29)

Obr. 4.8: Pasta tvořená vodou a biochar (str. 30)

Obr. 4.9: Kolorimetrický prostor CIELAB (Visscher, 2010) (str. 34)

Obr. 4.10: Spektrometr Konica Minolta CM-600d (str. 34)

Obr. 5.1: Archy nebělené buničiny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) při stupni mletí 20 SR (str. 36)

Obr. 5.2: Archy nebělené buničiny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) při stupni mletí 40 SR (str. 37)

Obr. 5.3: Archy nebělené buničiny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) při stupni mletí 65 SR (str. 38)

Obr. 5.4: Archy nasávané vlákniny s aplikací pasty voda a biochar (0, 20, 40, 60 %) (str. 40)

Obr. 5.5: Závislost nečistot v podsítových vodách na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 20 SR (str. 43)

Obr. 5.6: Závislost nečistot v podsítových vodách na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 40 SR (str. 44)

Obr. 5.7: Závislost nečistot v podsítových vodách na zanášce biocharu u nasávané kartonáže (str. 44)

Obr. 5.8: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 20 SR (str. 46)

Obr. 5.9: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 40 SR (str. 47)

Obr. 5.10: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nebělené buničiny umleté na 65 SR (str. 47)

Obr. 5.11: Závislost světlosti papercharu na zanášce biocharu u nasávané kartonáže (str. 48)

Obr. 5.12: Porovnání závislostí světlosti papercharu na zanášce biocharu (str. 48)

Seznam tabulek

- Tabulka 4.1: Procentuální zastoupení pasty v papercharu (str. 31)
- Tabulka 5.1: Sušina suspenze nebělené buničiny mleté na 20 SR (str. 35)
- Tabulka 5.2: Sušina suspenze nebělené buničiny mleté na 40 SR (str. 37)
- Tabulka 5.3: Sušina suspenze nebělené buničiny mleté na 65 SR (str. 38)
- Tabulka 5.4: Sušina suspenze nasávané kartonáže (str. 39)
- Tabulka 5.5: Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 20 SR pro dávku buničiny odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 40)
- Tabulka 5.6: Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 20 SR pro dávku buničiny odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 41)
- Tabulka 5.7: Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 40 SR pro dávku buničiny odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 41)
- Tabulka 5.8: Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 40 SR pro dávku buničiny odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 41)
- Tabulka 5.9: Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 65 SR pro dávku buničiny odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 41)
- Tabulka 5.10: Plošné hmotnosti nebělené buničiny umleté na 65 SR pro dávku buničiny odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 41)
- Tabulka 5.11: Plošné hmotnosti nasávané vlákniny pro dávku odpovídající $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 42)
- Tabulka 5.12: Plošné hmotnosti nasávané vlákniny pro dávku odpovídající $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (str. 42)
- Tabulka 5.13: Množství nečistot v podsítových vodách u nebělené buničiny – 20 SR (str. 42)
- Tabulka 5.14: Množství nečistot v podsítových vodách u nebělené buničiny – 40 SR (str. 42)
- Tabulka 5.15: Množství nečistot v podsítových vodách u nasávané vlákniny (str. 43)
- Tabulka 5.16: Hodnoty L , a , b pro nebělenou buničinu umletou na 20 SR (str. 45)
- Tabulka 5.17: Hodnoty L , a , b pro nebělenou buničinu umletou na 40 SR (str. 45)
- Tabulka 5.18: Hodnoty L , a , b pro nebělenou buničinu umletou na 65 SR (str. 45)
- Tabulka 5.19: Hodnoty L , a , b pro nasávanou kartonáž (str. 46)