

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Sledování vlivu torrefikátu na růst vybraných druhů**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Helena Rakušanová**

**Obor studia: Zahradnictví (ABZ)**

**Vedoucí práce: Ing. Helena Hniličková, Ph.D.**

© 2019 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Sledování vlivu torrefikátu na růst vybraných druhů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. 4. 2019

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Heleně Hniličkové, Ph. D. a Ing. Kamilu Krausovi za vedení a pomoc při psaní bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině a dalším blízkým za podporu.

# Sledování vlivu torrefikátu na růst vybraných druhů

## Souhrn

Cílem práce bylo sledovat vliv torrefikátu na růst vybraného druhu. Experiment byl proveden na listové zelenině, salátu setém (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.).

Rostliny byly pěstovány v různých substrátech. Pokus zahrnoval čtyři různé výchozí materiály vždy ve dvou provedeních, jeden materiál byl neupravený a druhý torrefikovaný při 250 °C. Použitými materiály byly řepková sláma, pšeničná sláma, odpad z čištění zrnin (1) a odpad z čištění zrnin (2). Po celou dobu pokusu byly květináče se saláty pravidelně zalévány. K pokusu bylo použito vždy šest květníků, mimo jediné varianty, kdy bylo použito květníků pouze pět, protože nebyl dostatek torrefikovaného odpadu z čištění zrnin (1). Ze souboru květníků bylo po měsíci od výsevu vytaženo 10 rostlin, ty byly zváženy, popsány a usušeny v sušárně. Po dalších čtrnácti dnech došlo k druhému odběru. Pak byly usušené vzorky vyndány ze sušárny a zvážena jejich hmotnost.

Z naměřených hodnot vyplývá, že původ rostlinného materiálu je velice důležitý, proto každá varianta vykazovala jiný vliv na růst rostlin. Naměřené hodnoty ukázaly, zda pro růst rostlin byla výhodnější surová biomasa nebo materiál torrefikovaný při 250 °C.

Pokus ukázal, že vhodnější pro pěstování rostlin byly substráty s odpady z čištění zrnin než slámy. Zároveň, ale nebylo možno stanovit u odpadů z čištění zrnin, jestli by bylo lepší používat pro pěstování torrefikovanou či netorrefikovanou variantu, vzhledem k opačným výsledkům u odpadů z čištění zrnin (1) a odpadů z čištění zrnin (2). Celkově lze tvrdit, že torrefikovaná biomasa je pro růst rostlin přínosnější.

**Klíčová slova:** biomasa, biouhlí, fytotoxicita, termochemická konverze, torrefikace

# Monitoring the effect of torrefaction on the growth of selected species

## Summary

The aim of the work was to monitor the effect of torrefaction on the growth of the selected species. The experiment was performed on leafy vegetables, lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.).

Plants were grown in different substrates. The experiment included four different starting materials in two versions, one material was untreated and the other was torrefied at 250 °C. The used materials were rapeseed straw, wheat straw, grain cleaning waste (1) and grain cleaning waste (2). Throughout the experiment, pots with salads were regularly watered. Six cauliflowers were used for the experiment, except for the one variant, where only five were used because there was not enough torrefied grain cleaning waste (1). After one month of sowing, ten plants were withdrawn from the set of cauliflowers, weighed, described and dried in an oven. After the next fourteen days, the second collection took place. The dried samples were then removed from the oven and weighed.

It follows from the measured values that the origin of the plant material is very important, therefore each variant had a different effect on plant growth. The measured values showed whether the raw biomass or the torrefied material at 250 °C was preferred for plant growth.

Attempts have shown that substrates with grain cleaning wastes were more suitable for growing plants than the straw ones. At the same time, however, it was not possible to determine for grain cleaning wastes whether it would be better to use a torrefied or non-refracted variant for cultivation, given the opposite results for grain cleaning (1) and grain cleaning waste (2). Overall, it is argued that torrefied biomass is more beneficial to plant growth.

**Keywords:** biomass, biochar, thermochemical conversion, torrefaction, toxicity

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Biomasa.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Rozdělení biomasy.....</b>	<b>3</b>
3.2.1 Biomasa pro energetické využití.....	5
3.2.2 Odpadní biomasa.....	6
3.2.3 Suchá, vlhká a speciální biomasa.....	6
3.2.4 Složení biomasy.....	6
3.2.4.1 Celulóza.....	6
3.2.4.2 Hemicelulóza.....	7
3.2.4.3 Lignin.....	8
<b>3.3 Zpracování a využití biomasy.....</b>	<b>8</b>
3.3.1 Pevná biomasa k vytápění.....	8
3.3.2 Biopaliva.....	9
3.3.2.1 Bionafta.....	9
3.3.2.2 Rostlinné oleje.....	10
3.3.2.3 Bioethanol neboli biolih.....	10
3.3.3 Agropelety.....	10
3.3.4 Bioplynová stanice.....	11
3.3.5 Energie z biomasy.....	11
3.3.5.1 Sláma.....	11
3.3.5.1.1 Řepka olejka ( <i>Brassica napus</i> L. var. <i>napus</i> ).....	12
3.3.5.2 Energetické byliny.....	12
3.3.6 Zpracování dřeva.....	12

<b>3.4</b>	<b>Metody termochemické konverze biomasy</b> .....	<b>13</b>
3.4.1	Pyrolýza .....	14
3.4.1.1	Rychlá pyrolýza .....	15
3.4.1.2	Pomalá pyrolýza .....	15
3.4.2	Zplyňování .....	15
3.4.3	Spalování .....	16
3.4.4	Hydrotermální karbonizace.....	16
3.4.5	Zkapalnění .....	17
3.4.6	Torrefikace.....	17
<b>3.5</b>	<b>Biochemické zpracování biomasy</b> .....	<b>18</b>
3.5.1	Fermentace.....	18
3.5.2	Digesce.....	18
<b>3.6</b>	<b>Biouhlí</b> .....	<b>19</b>
3.6.1	Historie.....	19
3.6.2	Využití .....	20
<b>3.7</b>	<b>Toxicita biouhlí a vliv na růst</b> .....	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Metodika a materiál</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Rostlinný materiál</b> .....	<b>22</b>
4.1.1	Salát hlávkový ' Smeraldo 2 ' ( <i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>capitata</i> L.) .....	22
<b>4.2</b>	<b>Metodika kultivace</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3</b>	<b>Metodika měření</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Řepková sláma</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Odpad z čištění zrnin 1</b> .....	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Odpad z čištění zrnin 2</b> .....	<b>29</b>
<b>5.4</b>	<b>Pšeničná sláma</b> .....	<b>31</b>
<b>5.5</b>	<b>Hmotnost čerstvé biomasy – srovnání pokusných variant</b> .....	<b>33</b>

<b>5.6</b>	<b>Hmotnost sušiny – srovnání pokusných variant .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>48</b>
<b>9.1</b>	<b>Obrázky.....</b>	<b>48</b>
<b>9.2</b>	<b>Tabulky .....</b>	<b>49</b>
<b>9.3</b>	<b>Zkratky.....</b>	<b>49</b>



# 1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je Sledování vlivu torrefikátů na růst vybraných druhů. Jistě si mnozí z Vás kladou otázku, co to vlastně ten torrefikát je? Torrefikát je produkt, který vznikne zpracováním rostlinné biomasy, při procesu torrefikace neboli nízkoteplotní pyrolýzy. Torrefikaci je thermochemický proces, podobný pyrolýze, zplyňování, spalování, hydrotermální karbonizaci a zkapalňování biomasy. Tento specifický proces probíhá bez přístupu kyslíku, v teplotním rozmezí 200 až 300 °C a dochází, tak k nedokonalému spalování materiálu. V našem případě se různé typy rostlinné biomasy spalovaly při 250 °C.

K tomu abychom mohli porozumět složitějším věcem, tak musíme zprvu znát a ovládat ty snazší, jednodušší a primitivnější děje dané problematiky. Na těchto znalostech, pak můžeme dále stavět. V tomto případě je základním pojmem, dovolím si říci alfou a omegou, biomasa a její definování.

Většina lidí v České republice si myslí, že biomasa je hmota, která roste na poli (většinou kukuřice), která se následně zpracovává v bioplynové stanici. Ale není tomu tak. Biomasa je veškerá rostlinná hmota (stromy, obiloviny, trávy a další), a také živočišná, bakteriální a houbová hmota, která naroste.

Při thermochemických procesech vzniká spousta produktů jako metan, biouhlí, bio-olej, oxid uhličitý nebo vodík. Druhý zmiňovaný chemický produkt nás velice zajímá, protože ve svém pokusu jsem zkoumala jeho inhibiční a podpůrné vlastnosti, které má na růst rostlin.

Překvapivým zjištěním bylo, že nejhorší možnou rostlinnou biomasou, z které se vyrobí torrefikovaný materiál, je sláma z řepky olejky. Řepka olejka patří mezi nejpěstovanější plodiny v České republice. Z laboratorního pokusu vyplývá, že její posklizňové zbytky nejsou vhodné pro zlepšení vlastností půdy. Naopak jako nejvhodnější se jeví směs z čištění obilovin. Je to i docela logické, protože obaly zrn (plevy) obsahují spoustu minerálních látek a dodají do půdy důležité prvky.

Lze tedy předpokládat, že torrefikace zemědělských zbytků a odpadů se bude stále více využívat pro zlepšování a zkvalitňování zemědělské výroby.

## 2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování informací o torrefikaci rostlinné biomasy, vlivu torrefikovaného materiálu na růst salátu setého (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). Znamenalo to popsat termochemické a biochemické zpracování biomasy, které probíhá většinou za nepřítomnosti kyslíku. Využívá se to pro výrobu unifikovaných pevných paliv s vylepšenými reologickými a fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Využití je, ale mnohem širší jako třeba hnojivo nebo nosič minerálních látek. Důležité bylo si povšimnout využití produktů torrefakce, a také testovat případnou inhibici nebo stimulaci růstu rostlin.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Biomasa

Biomasa je souhrn veškeré organické hmoty na planetě, odvozené od všech živých organismů (živočichové, rostliny a mikroby). Podmínkou tvorby biomasy je fotosyntéza, a také látky, které organismy vylučují nebo metabolizují. Biomasa je často využívána jako zdroj energie. Nejčastěji se k její produkci využívají kulturní rostliny, které se nejsou určeny pro výživu lidí nebo jako krmivo pro zvířata. Rostlinný materiál se nazývá lignocelulózová biomasa. Jsou to zemědělské a lesnické produkty, jako je dendromasa (dřevo, kůra, větve), fytomasa (sláma a další hmota, kterou získáme na konci vegetačního období), (Wang & Zhongyang 2016).

Do biomasy také patří plyny a kapaliny, které získáme z rozkladu nefosilizovaného a biologicky odbouratelného materiálu. Biomasa zajišťuje stálou interakci oxidu uhličitého, vzduchu, vody, půdy a slunečního záření. Když dojde ke smrti organismu, nastoupí mikroorganismy, které ho rozloží na primární složky (vodu, oxid uhličitý a biogenní prvky). Nemusíme se vůbec bát toho, že vzniká oxid uhličitý, protože působením mikroorganismů, ani spalováním nezvyšujeme jeho hladinu v ovzduší, jako skleníkového plynu, proto ho nazýváme neutrálním skleníkovým plynem (Basu 2010).

Jak už bylo řečeno do biomasy, zahrnujeme pouze živé a nedávno odumřelé organismy, a ne materiály, které byly už po velkou řadu let transformovány geologickými procesy (uhlí, ropa). Především využíváme materiály, které lze přeměnit na palivo, nebo je využít jako suroviny v chemickém průmyslu. (Basu 2010).

### 3.2 Rozdělení biomasy

Biomasu můžeme dělit různými způsoby a každý má jiný počet kategorií, ale zároveň se všichni drží obecných pravidel, jako je skupenství biomasy, účel k jakému je biomasa určena, a také se rozlišuje původ biomasy. Několik ukázek toho, jak lze biomasu dělit a třídit do kategorií.

#### Ukázka prvního dělení biomasy:

- **zemědělská:** sláma, plevy, cukrovarský odpad, skořápky, plody, hnůj a kejda
- **lesní:** dřevo, kůra, větve, piliny, listí a jehličí

- **vyprodukovaná civilizací:** kaly, splašky, odpad z potravin, starý papír
- **pro energetické využití:** vrby, topoly, komonice, šťovík, kukuřice, sója, olejnate rostliny
- **biologická:** vodní živočichové, živočišný odpad a biologický odpad (Basu 2010).

#### **Ukázka druhého dělení biomasy:**

Biomasu můžeme rozdělit do dvou kategorií, dle využití, nebo vlastností. Do první kategorie spadá biomasa pěstovaná pro kvůli energetickému využití, a druhá skupina zahrnuje biomasu odpadní. Kategorii, kde třídíme biomasu dle vlastností, rozdělujeme následovně: suchá, vlhká, speciální (Vobořil 2017).

#### **Ukázka třetího dělení biomasy:**

Podle legislativy České republiky se biomasa dělí především podle vzniku, do 3 kategorií:

1. Biomasa, která naroste na poli a to buď cíleně vypěstovaná, nebo vznikajících v rámci osevních postupů (kukuřice pro bioplynové stanice, vojtěška, rychlerostoucí dřeviny, energetické byliny – šťovík, ozdobnice)
2. Dendromasa = lesní porosty. Využívá se hlavně zbytková dřevní hmota, z které se dělá zelená štěpka. Také se sem řadí zbytková fytomasa při produkci potravin, krmiv apod., kde hlavní dominantu tvoří obilná nebo řepková sláma.
3. Odpadní biomasa, tedy bioodpady a biologicky rozložitelné zbytky z průmyslové výroby, komunální odpady, masokostní moučka, pivovarnické mláto, kaly z čistíren odpadních vod a další (Stupavský 2011).

Ještě lze biomasu dělit podle fyzikálních vlastností:

- biomasu přeměněnou na plyn (bioplyn)
- biomasa v pevném skupenství (štěpka, pelety, sláma)
- biomasa v kapalně formě (bionafta, biolíh, rostlinné oleje), (Stupavský 2011).

### 3.2.1 Biomasa pro energetické využití

Biomasu využíváme pro výrobu elektřiny, tepla a také jako palivo do spalovacích motorů. Největší škálu biomasy využíváme na výrobu tepla a elektřiny. Proto se využívá hlavně pevná biomasa. Pro vytápění rodinných domů jsou vhodná dřevěná polena, pelety a brikety, ale na výrobu elektřiny je vhodnější štěpka, či balíkováná sláma. Abychom dosáhli dobrého výsledku, potřebujeme určitou kvalitu biomasy, a to především s nízkým obsahem vody, ale liší se to s ohledem na použitou technologii a velikost zařízení. Není třeba se zbavovat mokré biomasy (čistírenské kaly, siláž, rostlinná biomasa s vysokým obsahem vody), také se dá využít pro výrobu elektřiny a tepla, ale nejdříve putuje do bioplynové stanice, kde se vytvoří bioplyn, který může být následně využit v kogenerační jednotce (Stupavský 2011).

Patří sem především fytomasa, dendromasa, rychle rostoucí dřeviny a byliny, ovocné dřeviny, travní porosty, olejnaté rostliny, škrobo – cukernaté rostliny a směsi a příměsi biomasy (Trávníček 2015; Vobořil 2017).

Fytomasou rozumíme hmotu z rostlin, která není dřevnatá, a získáme jí na konci vegetačního období. Řadíme sem: olejninu, obilninu, trávy, květiny a další rostliny, které můžeme označit také jako zemědělské a zahradní plodiny. Dále do této skupiny zařazujeme vedlejší produkty a zbytky, které jsou i nejsou chemicky ošetřeny (Trávníček 2015).

Do dendromasy řadíme dřevo (stromy, kůra, větve, zbytky z údržeb,...), zbytky z celulózového a papírenského průmyslu a dřevo, které bylo již nějak využito (nábytek, latě). Dřevní biomasu můžeme využít, jako palivo místo fosilních paliv, a to ve formě štěpky, odřezků nebo pilin. Dále je vhodná na výrobu OSB desek nebo dřevotřískových desek (Trávníček 2015).

Rychle rostoucí dřeviny a byliny využíváme jako surovinu do bioplynových stanic na produkci bioplynu, energie, tepla a odpadního digestátu, který se v zemědělství používá jako kapalné hnojivo (Trávníček 2015).

Zvláštním využitím je čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu a vhánění do plynárenských sítí nebo pro pohon motorů v dopravě (Stupavský 2011).

Nejméně využívanou technologií je prozatím termochemický rozklad (pyrolýza, zplyňování, torrefakce) a další využití vznikajících produktů (Stupavský 2011).

### 3.2.2 Odpadní biomasa

Odpadní biomasu dělíme do několika skupin. Podle toho z jaké výroby pochází a o jaký typ odpadu se jedná. Mezi nejznámější patří biomasa z rostlinné a živočišné výroby, a také ze zpracování dřeva. Dále sem řadíme komunální a průmyslový odpad, který je biologicky rozložitelný (Bechník 2009).

Do biomasy z rostlinné výroby zařazujeme slámy (řepková, pšeničná, aj.), odpad z čištění zrnin, zbytky z údržby krajiny, odpad ze sadů, zahrad a vinic. V živočišné výrobě je to nejčastěji hnůj, kejda, močůvka a zbytky krmiv. Odpad ze zpracování dřeva jsou piliny, odřezky, větve, kůra. Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) jsou zbytky potravin a papírové obaly, Průmyslový odpad (BRPO) je živočišný odpad z jatek, z výroby papíru a jiné (Bechník 2009).

### 3.2.3 Suchá, vlhká a speciální biomasa

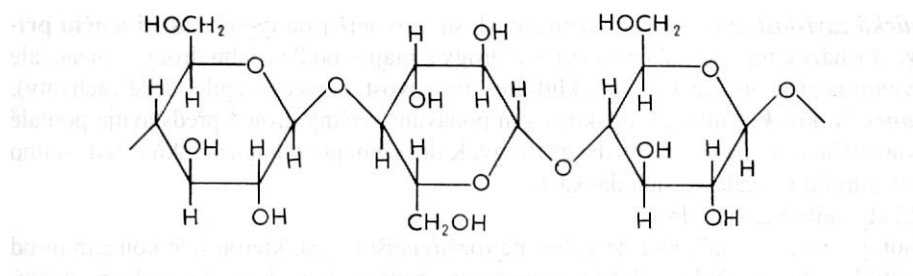
Suchou, vlhkou a speciální biomasu dělíme podle toho, jak se může zpracovat. Suchou biomasu lze spalovat v podobě takzvaných pelet nebo zplyňovat. Vlhkou biomasu nelze spalovat přímo, ale v bioplynových stanicích se z ní pomocí anaerobních procesů vytvoří bioplyn a digestát. Mezi speciální biomasu řadíme olejninu, škrobové a cukernaté plodiny, které mají v sobě hodně energie, protože jí z nich získáme například v podobě bionafty a lihu (Bechník 2009; Trávníček 2015; Vobořil 2017).

### 3.2.4 Složení biomasy

#### 3.2.4.1 Celulóza

Celulózu řadíme do sacharidů, konkrétně do polysacharidů. Je to nejvíce se vyskytující organická molekula v přírodě (obrázek 1). Také to je primární látka, z které je vytvořena buněčná stěna u biomasy a tvoří největší složku dřeva. V sušině dřeva je celulóza obsažena ve 40 až 45 %. Podle chemického vzorce jednu molekulu můžeme zapsat jako  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Je vysoce polymorfní, tedy nesourodá a vytváří dlouhé řetězce. Tvoří ji hlavně d-glukózy, které mají šest uhlíků nebo hexózoové cukry. Celulóza může být krystalická nebo amorfni. Důležitou vlastností celulózy je, že není rozpustná ve vodě a její molekuly jsou spojené pomocí vodíkových můstků. Pro člověka je celulóza naprosto nestravitelná (Basu 2010; Theander 1985; Zámotný & Kurc 2011).

### Celuloza (polysacharid)

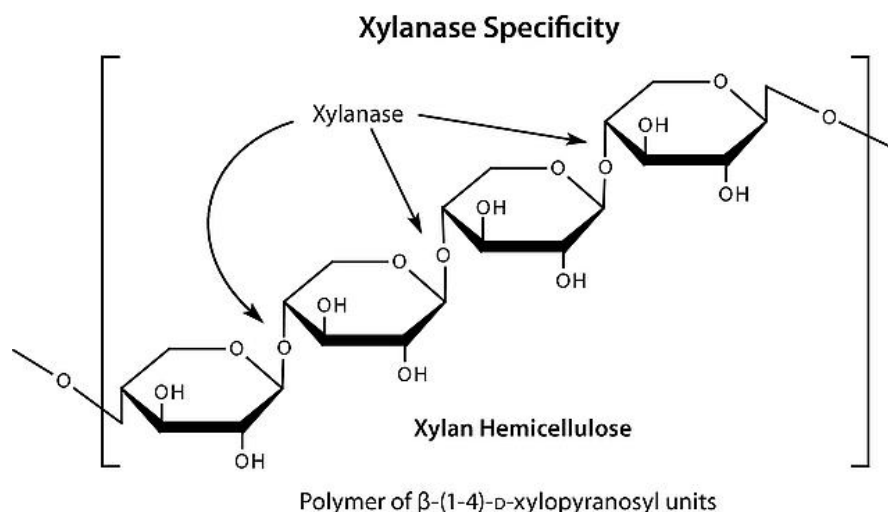


Obrázek 1: Schématické znázornění celulózy.

Dostupné z: [http://fld.czu.cz/vyzkum/nauka\\_o\\_lp/chemie/celuloza.jpg](http://fld.czu.cz/vyzkum/nauka_o_lp/chemie/celuloza.jpg)

### 3.2.4.2 Hemicelulóza

Hemicelulóza patří stejně jako celulóza mezi polysacharidy a je složena z více monomerů, nicméně její stupeň polymerace je nižší než u celulózy. Její obecný vzorec je  $(C_5H_8O_4)_n$ . Mezi hemicelulózy řadíme xyloglukany, xylany (obrázek 2), manany, glukomannany a  $\beta$ -glukany. Všechny mimo  $\beta$ -glukanů jsou obsaženy v buněčných stěnách suchozemských rostlin. Hlavní funkcí hemicelulóz je zpevnění buněčné stěny společně s celulózą a ligninem. Hemicelulóza má jednu vlastnost navíc oproti celulóze a to, že je rozpustná ve zředěných roztocích bází a kyselin. V sušině jí zbyde 20 až 30 % (Basu 2010; Klass 1998; Schller & Ulvskov 2010; Zámotný & Kurc 2011).

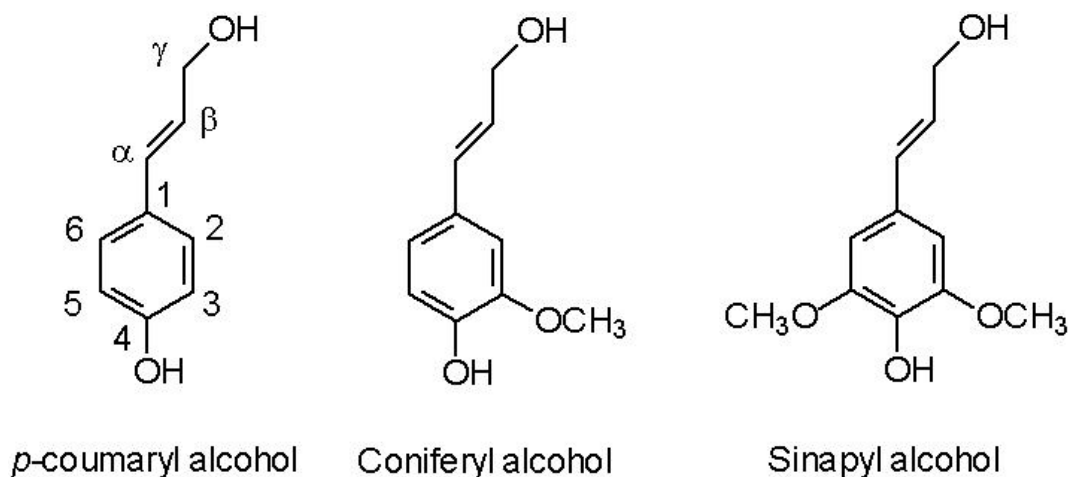


Obrázek 2: Schématické znázornění hemicelulózy.

Dostupné z: [https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/product0/149/bf5-5-xylan.eps/\\_jcr\\_content/renditions/bf5-5-xylan-large.jpg](https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/product0/149/bf5-5-xylan.eps/_jcr_content/renditions/bf5-5-xylan-large.jpg)

### 3.2.4.3 Lignin

Lignin je velice komplexní trojrozměrná makromolekula fenylypropanu a tvoří sekundární buněčnou stěnu u rostlin. Základními jednotkami jsou *p*-kumarylalkohol, koniferylalkohol a sinapylalkohol (obrázek 3). Patří vedle celulózy a hemicelulózy do hlavní trojice, která tvoří buněčnou stěnu dřevní biomasy. Lignin funguje jako jakési lepidlo pro celulózu a hemicelulózu, spojuje a drží vlákna sousedících buněk, takže vyplňuje prostor mezi buňkami. Je odpovědný za pevnost a tuhost dřeva. Lignin nemůžeme nijak rozpustit ani v té nejsilnější kyselině sírové. Obsah ligninu se liší v procentickém vyjádření sušiny u tvrdého a měkkého dřeva. U měkkého je to 25 až 35 %, u tvrdého podstatně méně jen 18 až 25 % ligninu (Basu 2010; Klass 1998; Zámostný & Kurc 2011).



Obrázek 3: Monomery ligninu ( Fengel & Wegener 1984).

## 3.3 Zpracování a využití biomasy

Zpracování dělíme do 3 skupin: podle původu, druhu a struktury

podle obsahu vody

podle systému dopravy paliva a výkonosti kotle

(Trávníček 2015)

### 3.3.1 Pevná biomasa k vytápění

Výhodou biomasy je, že funguje jako akumulátor sluneční energie, snadno se skladuje a zpracovává se pomocí běžných dřevařských a zemědělských strojů a technologií. Naopak nevýhodou má v tom, že obsahuje poměrně málo energie (jedna tuna suché biomasy, má cca



dvojnásobný objem, než jedna tuna hnědého uhlí, i když obsahují skoro stejné množství energie), (Srdečný 2009).

### 3.3.2 Biopaliva

Biopaliva dělíme do 4 skupin podle vlastností samotné biomasy (Baskar 2012).

První generace biopaliv je vyráběna z materiálu, který by mohl být použit lépe, jako třeba potravina pro člověka nebo krmivo pro zvířata. Proto, aby se neplýtvalo rostlinami, které se dají jíst, se vyčlenila druhá generace biopaliv, která jako vstupní materiál používají různé dřevní a rostlinné zbytky a energeticky vydatné rostliny. Už je i třetí generace biopaliv, která využívá mořských řas, které rostou v bažinách, zasolených půdách a naprosto nevyužitelné půdě. A je tu také návrh vyčlenit čtvrtou skupinu biopaliv. Ta by měla spotřebovat víc oxidu uhličitého, než se vyrobí a tím pádem přispět ke snížení obsahu skleníkového plynu v atmosféře a zmírnit dopady na globální oteplování (Baskar 2012).

Plynná biomasa se nejvíce využívá v dopravě a cílem je docílit toho, aby v roce 2020 biopaliva pokrývala 10% spotřeby paliv v silniční dopravě v celé Evropské unii (Srdečný 2009).

#### 3.3.2.1 Bionafta

Bionafta je nejrozšířenějším biopalivem. Vyrábí se z oleje, hlavně řepkového, ale dále se může použít slunečnicový a sojový olej. Dokonce lze využít olej po smažení (fritování) nebo palmový olej a jiné. Řepkový olej se pomocí katalyzátoru a vysoké teploty přemění na metylester řepkového oleje a je nazýván jako „bionafta první generace“. Po smíchání s lehkými ropnými produkty vznikne „bionafta druhé generace“, kde obsah metylesteru řepkového oleje musí minimálně dosahovat 30 %. Velkou výhodou je snadné míchání s naftou vyrobenou z ropy. Má, ale i další výhody. Je šetrnější k životnímu prostředí, snižuje kouřivost a emise u dopravních vozidel a je lépe biologicky odbouratelná. Pokud se používá malé množství bionafty, není potřeba nijak vozidlo upravovat (e4tech 2009; Srdečný 2009).

Již existuje biopalivo druhé generace, k jehož výrobě se využívá komunální odpad a další odpady (plasty, dřevní, zemědělské odpady) a nazývá se syn-diesel neboli syntetická nafta. Vyrábí se pomocí nízkoteplotní pyrolýzy (Fischer-Tropschova syntéza), kdy při vysokém tlaku a teplotě 350 °C vznikají kapalné uhlovodíky. Velkou výhodou je likvidace komunálního odpadu. Syntetická nafta tvoří pouze 5 až 10 % hmotnosti odpadních produktů, které byly použity jako surovina pro její výrobu (Srdečný 2009).

### 3.3.2.2 Rostlinné oleje

Ač je to dosti zvláštní je možné i samotný olej použít jako palivo pro motory. Je nutné při startování začít s naftou kvůli tomu, že když je olej studený, tak má velkou viskozitu, a tím pádem je nezpracovatelný pro válce motoru. Proto musíme nejprve olej zahřát na 80-90 °C ve výměníku, a poté může jít do motoru. Když chceme uvést vozidlo do klidu, tak musíme přepnout na naftu, aby nezůstal olej v motoru a nebyl problém při následném startování. Bohužel velice málo firem nabízí takto upravené traktory, proto si zemědělci dost často své stroje přestavují a používají je na své vlastní riziko (Srdečný 2009).

### 3.3.2.3 Bioethanol neboli biolih

Biolih můžeme použít jako palivo pro benzínové motory. Obilí, brambory, kukuřice, cukrová řepa a jiné se používají pro výrobu první generace biopaliv. Nejvhodnější jsou ty rostliny, které mají nejvíc sacharidů a škrobu, protože čím víc ho obsahují, tím víc získáme etanolu. Etanol získáme díky procesu kvašení cukernatých látek a následné destilace. Díky kvašení se glukóza štěpí na etanol a oxid uhličitý. Nejlépe se kvasí cukernaté plodiny, protože ty můžeme dát vykvasit rovnou na rozdíl od škrobnatých plodin, které musíme nejprve enzymaticky rozložit na cukry a vodu (brambory), (Srdečný 2009).

Je možné vytvořit i biolih druhé generace a to z odpadů, které obsahují celulózu, což je sláma, starý papír, dřevní odpad. Proces získávání vody a cukru z celulózy je mnohem technologicky náročnější, než u brambor (škrobnatých plodin), (Srdečný 2009).

### 3.3.3 Agropelety

Agropelety jsou vyrobené z jiné biomasy než dřevní. Jsou hlavně průmyslovým palivem a někdy jsou využívány i v domácnostech, ale opravdu jen zřídka, protože na jejich spalování je nutné mít speciální kotel a nejsou tak vhodné jako pelety ze dřeva. Obsahují velké množství nespalitelných látek, vytvářejí vysoký obsah popela, čímž zanášejí a následně poškozují kotle. Dalšími nevýhodami rostlinných pelet je jejich nestandardní kvalita a dostupnost. Největší množství se jich vyrobí ihned po žních, a poté produkce klesá a v zimě není žádná. Kvalita je odvislá od složení, které je pokaždé jiné, protože každé seno, sláma, rostlina mají jiné složení a jinou kvalitu, tím pádem i každá várka pelet je úplně jiná. Z toho vyplývá, že na využití pro vytápění domácností to není moc vhodné. Vzhledem k pořizovací ceně, dostupnosti, kvalitě a dalším okolnostem (Stupavský 2013).

### 3.3.4 Bioplynová stanice

Bioplynové stanice vyrábí pětinu energie získávané u nás z obnovitelných zdrojů. Je to zařízení, které zpracovává biomasu či jiné organické materiály s vysokou vlhkostí, které se nehodí ke spalování. Proces se odehrává v anaerobních fermentorech. Dochází k využití energie, která je vázaná v organické hmotě, v podobě bioplynu a zůstávají zachovány hnojivé účinky vstupního materiálu. Bioplynové stanice dělíme na 3 typy podle vstupní suroviny. Rozlišujeme zemědělskou bioplynovou stanici (zpracování energetických plodin a vedlejší zemědělské produkty), komunální bioplynovou stanici (zpracování komunálního odpadu) a bioplynovou stanici na čištění odpadních vod a odplynění skládek. Hlavními produkty procesu jsou bioplyn s velkým obsahem metanu (50 – 75 %) a digestát, který se používá jako hnojivo. Mimo získání energie bioplynová stanice snižuje objem vedlejších zemědělských produktů o 50 %, zvyšuje využitelnost živin, snížení zápachu a hlavně snížení emisí skleníkových plynů (Srdečný 2009).

### 3.3.5 Energie z biomasy

#### 3.3.5.1 Sláma

Nejdůležitější zdroj energie z biomasy pochází ze zemědělské činnosti. Nejvíce využívané jsou vedlejší produkty pěstování zemědělských plodin. Je to obilná a řepková sláma. K odstranění dlouhodobého a nežádoucího skladování přispívá efektivní využití slámy a dalších odpadních hmot jako jsou odpady z čištění zrnin. Ve volné přírodě i v okolí zemědělských budov se vyskytují staré tlející stohy slámy, které jsou zdrojem skleníkových plynů a napomáhají, tak ke zhoršování atmosféry. Sláma se také dá využít pro zlepšení půdy, která dodá organické látky, ale na to se jí dá použít jen třetina z celkové produkce. Proto využití přebytečné slámy k energetickému účelu je velice vítané (Petříková 2004).

Sláma jako palivo pro výrobu tepla funguje již 20 let. Balíky slámy se spalují buď celé, rozdružené, nebo se dají využívat kotle, kde se dá spalovat i řezanka. Nejvíce energie v sobě má sláma řepky olejky, pšenice obecné a ječmenu setého (Trávníček 2015).

Při sklizni slámy se odstraní vrchní část rostliny se semeny, což zajišťuje žací mlátička. Sběrací lis sbírá slámu a lisuje ji nejčastěji do velkoobjemových kvádrů 300 nebo 500 kg, protože je to výhodnější pro kotelny. Málokdy do kulatých a maloobjemových balíků. Balíky jsou naloženy a odvezeny do skladu, kde se musí zajistit ochrana před hlodavci (Petříková 2004; Trávníček 2015).

Sklízení celých rostlin i se zrnem je nutné dobře načasovat, aby nedocházelo k vypadávání zrn (výdrol), tím pádem k vyšším ztrátám na výnosu zrna (Petříková 2004).

Slámu můžeme sklízet i pomocí řezačky. Volně ložená sláma je potom foukána do velkokapacitních sběračů a odvezena ke zpracování nebo uskladnění (Trávníček 2015).

#### 3.3.5.1.1 Řepka olejka (*Brassica napus* L. var. *napus*)

Veškerá sláma z řepky olejky je vhodná pro energetické využití, Množství, ve kterém je možné ji využít, se musí posoudit, podle podmínek v dané lokalitě, klíčová je dopravní vzdálenost mezi polem a biokotelnou (Petříková 2004).

Průměrná produkce řepkové slámy je cca 2,8 – 4,5 t/ha. Není to výnos celkový, protože řepka olejka není primárně pěstována jako energetická rostlina, ale v tomto případě se využívá pouze jejich odpadních produktů. Množství sklizené slámy závisí také na odrůdě, výživě a kvalitě stanoviště (Petříková 2004).

#### 3.3.5.2 Energetické byliny

Tuhá paliva, lze vyrábět z rostlin, které jsou záměrně pěstované kvůli svému energetickému potenciálu. Do energeticky vydatných rostlin řadíme tyto druhy, například (krmný šťovík, laskavec, konopí seté, čirok, chrastice, kostřava), (Trávníček 2015).

V našich podmínkách se nejvíce pěstuje šťovík krmný, protože jeho osivo je nejsnáze dostupné a technologie zpracování je dostatečně prověřená. Výhodou pěstování právě šťovíku krmného jako energetické rostliny je, že rychle ukončí svou vegetaci a sklízí se ještě před hlavními žněmi. Sklízíme běžnými sklízecími a žacími stroji. Následně se lisuje do balíků (Trávníček 2015).

### 3.3.6 Zpracování dřeva

Dřevní pelety se dají definovat jako slisovaný váleček čistých pilin bez kůry a dalších příměsí. Piliny drží pohromadě kvůli stlačení vysokým tlakem a působení vysoké teploty. Důležitou roli hraje ve dřevě lignin, který při lisování funguje jako jakési pojidlo, lépe řečeno „lepidlo“. Nejčastějším využitím pelet je jejich spalování. Kotle nebo kamna, která jsou přímo určena k topení peletami, jsou totiž bezobslužná. Samy si umějí přiložit (Stupavský 2013).

Kvalitní pelety musejí mít certifikát ENplus, světlý vzhled, homogenní barvu a neměly by se příliš drolit. Pelety s certifikátem nemají problémy při spalování, neobsahují velké množství popela, kůry, lepidel (těch průmyslových), barev a dalších věcí, které by tam neměly

být (tabulka 1). Certifikát ENplus je rozšířen po celém světě. Jen pro srovnání u nás v České republice je certifikováno přibližně 70 % výroby a u sousedů v Rakousku je to přes 90 %. Více jak 2/3 z celkové produkce, ale naše země vyváží do Itálie a Švýcarska (Stupavský 2013).

BIOMASA	OBSAH VODY (%)	VÝHŘEVNOST (MJ kg <sup>-1</sup> )
listnaté dřevo	15	14,6
jehličnaté dřevo	15	15,6
jedle	20	15,9
smrk	20	15,3
topol	20	12,9
vrba	20	16,9
dřevní štěpka	30	12,2
sláma z obilovin	10	15,5
sláma z kukuřice	10	14,4
slámka z řepky olejky	10	16
energetická plodina len	10	16,9

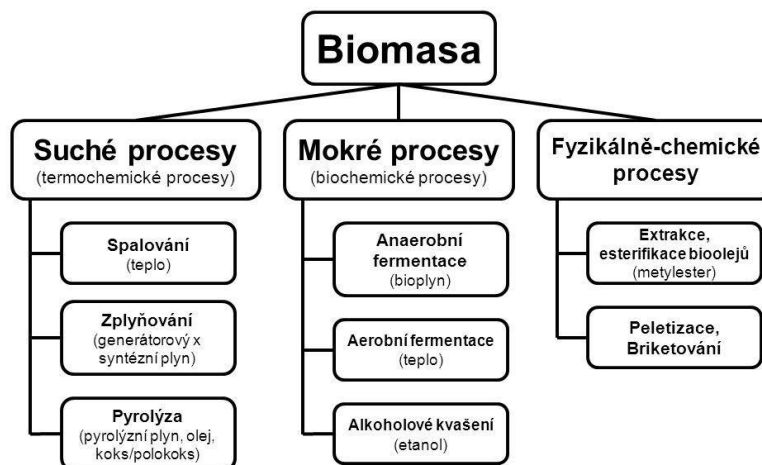
Tabulka 1: Druhy rostlinné biomasy a jejich průměrná výhřevnost. (Zámostný & Kurc 2011)

### 3.4 Metody termochemické konverze biomasy

Mezi tři hlavní metody termochemické konverze biomasy řadíme pyrolýzu, zplyňování a spalování (obrázek 4). K ostatním patří hydrotermální karbonizace, zkapalnění a jako poslední, nejnovější je proces torrefikace (McKendry 2002).

Chemické složení a skupenství produktů při termochemické konverzi je vždy závislé na typu procesu. Také se to odvíjí od vlastností vstupního materiálu, účinnosti přenosu tepla do hmoty. Z toho je vidět, že první kroky procesu jsou vždy rozhodující. Vznikají například tyto produkty: char, pára, plyn, olej (Lede et al. 1997).

# Energetické využití biomasy



Obrázek 4: Procesy, které se provádí s biomasou.

Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2684850/10/images/2/Energetick%C3%A9+vyu%C5%BEit%C3%AD+biomasy.jpg>

## 3.4.1 Pyrolýza

Při tepelném zahřívání biomasy dochází k fyzikálním a chemickým změnám. Jako první nastává pyrolýza a ta je předzvěstí zplyňování (Diebold & Bridgwater 1997).

Pyrolýzu označujeme jako termochemický proces bez přístupu kyslíku, kdy za pomoci vysoké teploty dochází k prvnímu stupni hoření a přeměně velkých molekul na menší. Podle teploty dělíme pyrolýzu na nízkoteplotní (pod 500 °C), pyrolýzu při střední teplotě (500 °C až 800 °C) a vysokoteplotní (nad 800 °C). Při teplotě do 200 °C dochází jenom k sušení a tvorbě vodní páry, mezi 200 až 500 °C se tvoří dehet a olej a ve fázi 500 až 1200 °C se tvoří plyny jako vodík, oxid uhelnatý, oxid uhličitý a metan (Scholz et al. 2001; Trnavský 2011).

Při endotermickém procesu se také tvoří pevná část, takzvané biouhli, které může být použito k výrobě tepla nebo elektřiny pomocí turbín. Bio-olej se dá také dále využít, jako palivo pro výrobu elektrické energie, ale nejčastěji ho využíváme jako palivo do dopravních prostředků (Baskar 2012).

Jelikož základní surovinou je lignocelulózový materiál, který nemá moc dobrou tepelnou vodivost, musí projít procesem pyrolýzy, abychom dostali lepší výsledek (Baskar 2012).

### 3.4.1.1 Rychlá pyrolýza

Rychlá pyrolýza je charakteristická rychlým teplotním nárůstem, krátkou dobou zdržení v reaktoru (několik sekund) a vysokou teplotou na konci procesu (1200 °C). Vzniká pyrolytický olej 60 – 75 % hm., biouhel 15 – 25 % hm. a pyrolýzní plyn 10 – 20 % hm. (Mohan et al. 2006).

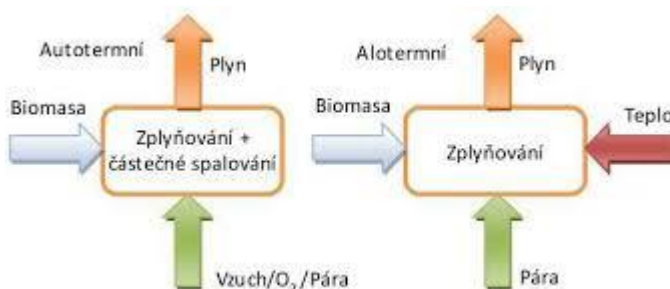
### 3.4.1.2 Pomalá pyrolýza

Pomalá pyrolýza je na rozdíl od té rychlé v teplotním nárůstu pozvolná a konečná teplota je do 800 °C. Zde vzniká 30 % hm. oleje, 30 % hm. plynu, a 35 % hm. biouhlu (Mohan et al. 2006).

## 3.4.2 Zplyňování

Zplyňování je proces dvou úrovní. Rozumíme tím úplné tepelné rozložení biomasy na plyn (který hoří), uhlí, popel a těkavé látky a to vše vzniká v reaktoru. První stupeň je pyrolýza, která probíhá bez přístupu kyslíku. Při teplotách pod 600 °C se uvolňuje vodík, vodní pára, oxid uhelnatý a oxid uhličitý. Všechny tyto produkty jsou velice těkavé. V porovnání s pyrolýzou u uhlí a biomasy, je u biomasy mnohem důležitější zplyňování, protože vzniká dvojnásobek až trojnásobek těkavých látek. Ve druhé fázi dochází k vlastnímu zplyňování, kdy využijeme char a popel, který vznikl jako vedlejší produkt pyrolýzy a zreagují s kyslíkem, vodíkem nebo vzduchem. Vzduch nebo kyslík určuje obsah dusíku v reakci (Knoef 2005).

Jsou dva způsoby zplyňování a to autotermální (přímý) a alotermický (nepřímý), (obrázek 5). Přímá konverze v důsledku nedokončené konverze obsahuje 90 až 95 % uhlíku. Mnohem atraktivnější je nepřímé zplyňování, kdy nevzniká dusík, protože jako médium se nepoužívá kyslík, ale vzduch (Knoef 2005).



Obrázek 5: Proces zplyňování.

Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRtkd7Td5Wfygjw2eWiaP2a3bMRfszZGc--D9Y3ArfVyu0yLiadw>

### 3.4.3 Spalování

Spalování se definuje jako úplná oxidace paliva. Jako první kroky v celém spalování nejdříve nastává sušení biomasy (pokud je příliš vlhká), pyrolýza nebo zplyňování biomasy. Plyny se používají pro vytápění malých kompostovacích jednotek, ohřev vody pro ústřední topení či k ohřevu vody v kotli pro výrobu elektrické energie (Van Loo & Koppejan 2008).

Na spalování používáme pece, kotle, parní turbíny a turbogenerátory. Můžeme spalovat jakoukoliv biomasu (typ), ale je důležité, aby její vlhkost byla pod 50 %, pokud ji předem neusušíme. Spálením biomasy získáme 20 až 40 % bioenergie, vyššího zisku dosáhneme spálením biomasy jen v uhelných elektrárnách (McKendry 2002).

### 3.4.4 Hydrotermální karbonizace

Hydrotermální karbonizace je exotermní proces, při kterém se biomasa zpracovává maximálně při 250 °C, ale spíše při nižší teplotě, nízkém tlaku a používá se k tomu horká stlačená voda. Jako produkt vzniká HTC uhlovodík, který je hydrofobní, rozpadavý, křehký a má mnohem větší výhřevnost než syrová biomasa. Je jedno z jakého typu biomasy se vyrábí, má stále velice podobný charakter a vzhled. Ze základní surové biomasy dokážeme vyrobit 50 až 80 % HTC uhlovodíku. Dále jako produkt vznikají sacharidy, organické kyseliny a 5-hydrogymethylfurfural, které jsou rozpustné ve vodě (Funke & Ziegler 2010; Strezov & Evans 2014).

Celý proces hydrotermální karbonizace se skládá z mnoha reakcí. Patří tam hydrolýza, dekarboxylace, dehydratace, kondenzační polymerace a aromatizace. Pomocí kondenzační polymerace vzniká hydrochlór a zároveň s tím probíhá degradace (dehydratace a dekarboxylace) rozpustných látek. Také je možné využít demetylace, pyrolýzy nebo reakce typu Fischer-Tropsch, což jsou další možnosti transformace biomasy (Strezov & Evans 2014).

Je možné hydrotermální karbonizaci provést i při vyšších teplotách v rozmezí 300 až 800 °C. Tento proces nazýváme hydrotermální karbonizace s vysokou teplotou. Karbonizace s vysokou teplotou napomáhá k výrobě speciálních materiálů, např. uhlíkové nanotrubičky či grafitového uhlíku. (Strezov & Evans 2014).

Využití HTC uhlovodíku neboli hydrocharu není pouze jen jako tuhé palivo. Nachází také využití například jako absorpční materiál v odpadních vodách, pro fixaci uhlíku, zlepšení půdy (obohacení, zkvalitnění a zvýšení hodnoty půdy) a jiné další (Strezov & Evans 2014).

Jsou faktory, které ovlivňují proces, chemické a fyzikální vlastnosti hydrocharu. Lignocelulózní biomasa při tomto zpracování si zanechává lignin v produktu, protože nízká



teplota nemá vliv na rozklad. Rychlost a průběh procesu ovlivňuje i teplota. Čím vyšší teplota, tím rychleji probíhají všechny vedlejší reakce (hydrolyza, polymerace). Teplota také ovlivňuje množství kyslíku v hydrocharu. Tady platí, čím vyšší teplota, tím je obsah kyslíku menší (Strezov & Evans 2014).

### **3.4.5 Zkapalnění**

Zkapalnění je hydrotermální proces přeměny vlhké biomasy na biopalivo. Proces pracuje s nízkou teplotou a to pod 400 °C, vysokým tlakem v rozmezí 5 až 20 MPa a vodou jako rozpouštědlem. V procesu zkapalňování se biomasa přeměňuje na bio-ropný olej, ve vodě rozpustné látky, biochar a nekondenzovatelné plyny. Opět reakční teplota a retenční čas ovlivňují proces zkapalnění, dále katalyzátory a obsah vody v biomase, které mají vliv na vlastnosti HTL produktu (Rosendahl 2017).

Přímá cesta ke zkapalnění biomasy má jen dvě metody. BOM metoda (Bureau of Mines process) smíchá prášek a recyklované výrobky oleje s katalyzátorem (uhličitan sodný  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  nebo chlorid železitý  $\text{FeCl}_3$ ). Metoda LBL (Laurence Berkeley Laboratory process) je založena na vodní bázi suspenze celulózy. U obou procesů se používá oxid uhelnatý (CO) nebo peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) jako redukční činidlo (Capareda 2014).

### **3.4.6 Torrefikace**

Pro proces torrefikace je ideální teplota v rozmezí 200 - 300 °C i když dříve byly navrhovány jiné teplotní hranice. Vytváří se uhlovodíkový substrát. Za této teploty se mění vláknitá struktura biomasy, tak že se z ní dají vytvořit pelety bez použití jiných složek. Jisté je, že teplota nesmí překročit hranici 300 °C, protože poté už dochází ke krakování celulózy, ztrátě ligninu, devolatilizaci a karbonizaci a to je nežádoucí. Kyslík v reakci není přítomen, ale minimální množství může být i prospěšné. Dalším důležitým faktorem je rychlost. Rychlost musí být velice pomalá, aby se dosáhlo maximální výtěžnosti. Torrefikace se využívá pro předběžné zpracování biomasy a následné další použití, aby se nemusela používat surová forma. Biomasa z procesu torrefikace nachází využití jako palivo pro decentralizované systémy vytápění, palivo pro zplyňování, surovina pro chemický průmysl nebo jako náhrada koksů ve vysokých pecích s důsledkem snížení emisí hlavně uhlíku (Basu 2013).

## 3.5 Biochemické zpracování biomasy

Biochemická konverze slouží k rozkladu biomasy, aby se mohly zpracovat cukry, které jsou přeměňovány na biopaliva za pomoci katalyzátorů a mikroorganismů. Využívají se enzymy bakterií k rozkladnému procesu. Dva hlavní používané procesy jsou fermentace a anaerobní vyhnívání neboli anaerobní digesce (Niir Board of Consultants & Engineers 2008).

### 3.5.1 Fermentace

Fermentaci můžeme využít u plodin, které jsou pěstované kvůli obsahu cukru nebo škrobu. Rostliny cukrovarnické (cukrová řepa, cukrová třtina) a rostliny škrobové (kukuřice, pšenice). Škrob a cukr se přemění pomocí kvasinek na etanol. Velice energeticky náročné je převést kukuřici na etanol a získáme tak jen 450 l etanolu z tuny usušené kukuřice. Zbytky z procesu jsou dále používány jako palivo nebo krmivo pro dobytek. Můžeme převést i lignocelulózový materiál na etanol, ale to je složitější kvůli přítomnosti ligninu a hemicelulózy. Tyto složky spadají do polysacharidů a ty jsou složené z dlouhých řetězců. Abychom řetězce narušili, musíme nejprve provést kyselou nebo enzymatickou hydrolýzu (McKendry 2002).

Rovnice pro alkoholové kvašení:  $C_6H_{12}O_6 \Rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$  (Škorpík 2006).

### 3.5.2 Digesce

Aerobní digesce (vyhnívání) neboli kompostování probíhá za přístupu kyslíku. Procesu napomáhají mikroorganismy, které produkují  $CO_2$ , tepelnou energii a pevnou hmotu (digestát). Vzduch, který vhnáme do skládky, nutí mikroorganismy pracovat rychleji a rychleji a přeměňují, tak odpad na kompost, vodu a  $CO_2$ . Oproti anaerobní digesci, zde nevzniká metan a proto se aerobní digesce využívá v případě dalšího nevyužití tohoto plynu (Basu 2010).

Anaerobní digesce (vyhnívání) je proces, který probíhá bez přístupu kyslíku za pomoci mikroorganismů. Z biomasy se tímto procesem vyrábí bioplyn, který obsahuje hlavně metan a oxid uhličitý ( $CO_2$ ). Ze vstupní biomasy bioplynová stanice dokáže vyprodukovat 90 % bioplynu (z toho je 55 % metanu). Spalováním bioplynu se uvolňuje teplo, které udržuje bioplynovou stanici v chodu. Jako odpadní produkt vzniká digestát, což je tuhá a kapalná hmota, kterou lze použít ke hnojení. Digestát je netoxický a bez zápachu, uchovává si hodně dusíku a proto je lepší, než obyčejný hnůj od hospodářských zvířat. Využívání bioplynových

stancie napomáhá ke snížení produkce plynů, které se podílejí na vytváření skleníkového efektu. Používáním metanu k vytápění by v budoucnu mohlo dojít k nahrazení fosilních paliv, snížení emisí metanu na skládkách a vytěsňování průmyslově vyráběných hnojiv (Baskar 2012).

Rovnice pro anaerobní vyhnívání:  $C_6H_{12}O_6 \Rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$  (Škorpík 2006).

### 3.6 Biouhlí

Biouhlí je látka velice bohatá na uhlík, která se získává pomocí termochemických procesů z biomasy (dřevo, listí či hnůj). Biochar vzniká z organické hmoty bez přístupu kyslíku při teplotě pod 700 °C (Harris 1999).

Je překvapující, že biouhlí vzniká i samovolně v přírodě, a to tehdy když dojde k požáru (les, pole). Tím pádem, tato látka proniká do půdy, sedimentů, dokonce i do mořské vody. Zde všude ho najdeme v podobě ohořelého materiálu, sazí, grafitu či dřevěného uhlí (Schmidt et al. 2001; Lehmann et al. 2011).

Složení biocharu má tři hlavní složky: relativně stabilní uhlík, labilní uhlík a popel. V půdě biouhel rozpoznáme podle chemické struktury, která je naprosto jiná od ostatních organických materiálů, které se tam vyskytují. Hlavním znakem je, že obsahuje několikrát více aromatického uhlíku (kondenzované uhlikaté cykly), které nemohou být přeměněny na energii. Labilní uhlík lze snadno vyluhovat a mikroorganismy jej využijí. Popel obsahuje velice důležité minerální prvky především vápník, horčík, křemík, železo, síru, fosfor a draslík, které jsou rostlinám přístupné z roztoků (Lehmann et al. 2011). Rozdíl mezi biocharem a uhlím je velký. Uhlí je určeno ke spalování v kotli, ale biochar má za úkol zlepšovat půdu (Kuhlbusch & Crutzen 1995).

Pomocí hydrotermální karbonizace se produkuje HTC biochar (kapalný), který má jiné vlastnosti, než ten pevný a klasický biouhel (Libra et al. 2011).

#### 3.6.1 Historie

Již v 19. století na farmách v Ohio se přišlo na to, že když se spalovala biomasa, tak produkce plodin byla stále výborná, oproti pozemkům, kde tak zemědělci nečinili (Woods et al. 2009).

V Amazonii se také vyskytuje velice úrodná půda s názvem Dark Earths místními nazývaná Terra Preta de Indio, kde je obsažena vysoce stabilní zuhelnatělá hmota (Lehmann et al. 2003).

### 3.6.2 Využití

Hlavním využitím, které se teď nejvíce zkoumá, je zvýšení výnosů plodin. Do půdy s kyselým pH přidáme biochar, a tím zvýšíme pH. Musíme, ale brát v potaz to z jakého materiálu je biochar vyroben a do jakého půdního typu je vpravován, i to jsou faktory, které ovlivní kvalitu půdy a následně růst rostlin (Lehmann et al. 2011; Kraska et al. 2016).

Dalším využitím by mohlo být pomalé uvolňování uhlíku do atmosféry díky dlouhodobé sekvestraci uhlíku v půdě. Z toho vyplývá snížení obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře a snížení skleníkových plynů (Smith et al. 2010).

Biouhlí by mohlo nahradit i minerální hnojiva, především ty s obsahem fosforu. Jelikož se objevují spekulace, že fosfor bude v tomto století vyčerpán, tak by biochar byl vhodný pro dodání fosforu rostlinám (Zhang et al. 2016).

Biochar se uplatňuje také jako homogenní katalyzátor, pro uchování a přeměnu energie a proto je předpokládán zvyšující se zájem o něj (Yao & Wu 2015; Yusof et al. 2014; Zhang et al. 2014).

Je minimálně 55 způsobů použití biouhlí a to v mnoha odvětvích:

- chov zvířat (krmivo pro zvířata, do podestýlek, ošetření vody pro chov ryb), 90 % biouhlí je použito v této sféře a výsledkem použití je snížení zápachu a zklidnění zvířat
- půdní kondicionér (kompost, náhrada rašeliny, ochrana rostlin)
- ve stavebnictví (izolace, dekontaminace vzduchu, regulace vlhkosti vzduchu, ochrana proti elektromagnetické radiaci)
- dekontaminace (půdní substráty, ošetření rybníků a jezerní vody)
- produkce bioplynu (příměs biomasy ve fermentaci)
- čištění odpadní vody (aktivní uhlíkové filtry)
- čištění pitné vody (ve filtrech)
- další užití (výfukové filtry, elektronika, kosmetika, zdravotnictví, ...)
- textil (teplená izolace pro funkční prádlo)
- wellness (výplň matrací a polštářů)
- ochrana před elektromagnetickým zářením (mikrovlnné trouby), (Schmidt 2010)

### **3.7 Toxicita biouhlí a vliv na růst rostlin**

Biouhlí má zlepšovat půdu a obohacovat jí, ale může se stát, že má i negativní vliv. O negativním vlivu mluvíme v mírném podnebném pásu. Protože zde půda obsahuje více jak 1,5 % humusu. Vysoká adsorpce rostlinných živin z půdy má za následek negativní vliv na růst rostlin, a to buď krátkodobý, nebo středně dlouhý. Z toho vyplývá, že v mírném podnebném pásu, je nutné použít biouhel až po jeho obohacení živinami a aktivací jeho povrchu mikrobiální oxidací. Neoptimálnější obohacení biouhlu živinami nastává při spolukompostování. Do biomasy ke kompostování přidáme 10 - 30 % biouhlí (Schmidt 2010).

## 4 Metodika a materiál

Úkolem mé práce bylo sledovat vliv torrefikátů na růst vybraných druhů rostlin. Rostlinným druhem, který byl vybrán k pokusu, byl hlávkový salát (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.).

Pěstební substrát bude obohacen torrefikovaným materiálem různého původu v různých poměrech a bude sledován vliv na růst vybraných druhů. Růstové parametry budou hodnoceny na základě stanovení hmotnosti čerstvé biomasy a sušiny rostlin.

### 4.1 Rostlinný materiál

Rostlinný druh k pokusu byl salát hlávkový (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.), kvůli svému rychlému vývoji a dobré pozorovatelnosti různých nedostatků na listech.

#### 4.1.1 Salát hlávkový 'Smeraldo 2' (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.)

Salát hlávkový patří do čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*). Je to dvouletá rostlina a řadíme ji mezi listovou zeleninu, jako třeba rukolu, špenát, pekingské zelí, mangold a jiné. Salát patří do II. trati. Vyséváme mělce do řádků či ve špetkách nebo na hrůbky, aby nedocházelo k hnilobným procesům od spodu hlávky. Doporučený spon je 25 x 25 nebo 30 x 30 cm. Když salát vzejde, tak ho vyjednotíme. Aby dobře prosperoval, vyžaduje slunné stanoviště, ale ne sluneční úpal. Dále lehčí, humózní půdy, dobrá je hlinitopísčité zemina. Pro dobré vzcházení semen a růst je nutné, aby teplota přes den byla v rozmezí 16 - 20 °C a v noci alespoň 4 - 6 °C. Nutná je i dobrá zálivka, ale nesmí docházet k přemokření, aby salát od spodu nezačal hnit (MoravoSeed; Petříková 2006; Semo a. s.).

Odrůda 'Smeraldo 2' v BIO kvalitě je určena pro polní pěstování (obrázek 6,7). To znamená k přímému výsevu na pole. Její hlávka je kulovitá, pevná, uzavřená, světle zelená, když dozrává, je skoro až bělavá. Má určitou odolnost vůči vybíhání v květ a chorobám. Tento salát je vhodný pro postupnou sklizeň. Přímý výsev děláme od začátku března (nakrýváme bílou netkanou textílií na noc) až do konce července. Sklízíme od června do října (Semo a.s.).



Obrázek 6: Semena salátu hlávkového.



Obrázek 7: Pokyny pro vysévání.

## 4.2 Metodika kultivace

Proto, aby byl uskutečněn pokus, bylo zapotřebí si nachystat rašelinu, dva druhy slámy, odpady z čištění zrnin a jejich torrefikovanou hmotu při 250 °C, nádoby (květníky), štítky na označení variant, váhy a samozřejmě semínka rostliny, která rychle roste a je proto vhodná pro výzkum. V mém případě byl zvolen salát hlávkový (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.) značky SEMO v bio kvalitě.

Pokus byl založen po polovině srpna ve výzkumných sklenících na ČZU. Bylo zkoumáno celkem 8 variant. Varianty: sláma z řepky olejky (obrázek 8), řepková sláma TOR při 250 °C, pšeničná sláma, pšeničná sláma TOR při 250 °C, odpad z čištění zrnin (1), odpad z čištění zrnin (1) TOR při 250 °C, odpad z čištění zrnin (2) a odpad z čištění zrnin (2) TOR při 250 °C (obrázek 9). Každá varianta musela mít minimálně 15 květníků, pro případ, že by nějaké nevzešly, uschly nebo došlo k jiným nepředvídatelným okolnostem. Byl vytvořen substrát v poměru 95 % rašeliny a 5 % příměsí, to znamenalo 4 750 g rašeliny a 250 g slámy nebo odpadu zrnin. Jelikož u varianty odpad z čištění zrnin (1) TOR při 250 °C bylo vytvořeno málo materiálu, musela být navážka nižší a to 2 850 g rašeliny a 150 g materiálu, aby byl poměr 95 % a 5 % zachován. Tudíž u této varianty nemohlo dojít k naplnění 15 květníků, ale bylo jich vytvořeno jen 12. Každá varianta byla označena příslušným štítkem nebo kombinací štítků a do každého květníku byla zasetá rovnoměrně špetka semínek.

Veškeré informace k pokusu byly zaznamenány, pro následné sledování. Všechny květníky byly důkladně zality vodou.

Jak již bylo řečeno, pokus byl uskutečněn ve sklenících ČZU, které mají regulovatelnou teplotu pomocí bílých stínovek, termoregulátorů a ventilátorů. Po celou dobu byly saláty pravidelně zalévány a kontrolovány.

Po 4 týdnech byl uskutečněn první odběr vzorků. Od každé varianty bylo vybráno 6 vzorků (květníků), jen v jenom případě pouze 5. Všechny vzorky byly fotograficky zdokumentovány.

Druhý odběr se konal 2 týdny po prvním, tedy 6 týdnů od výsevu. Opět bylo vybráno 6 vzorků, v jenom případě pouze 5. Také byla provedena fotodokumentace.



Obrázek 8: Založená varianta s řepkovou slámou (vlevo).

Obrázek 9: Založená varianta torrefikovaný odpad z čištění zrnin 2 (vpravo).

### 4.3 Metodika měření

Při prvním odběru vzorků bylo, u každé varianty, vyjmuto ze substrátu 10 rostlin. Kořínky rostlin byly, co nejlépe očištěny od zeminy. Celé rostliny byly vloženy do sáčku, označeny číslem varianty, datem odběru a zváženy pro stanovení hmotnosti čerstvé biomasy (g). Všechny pytlíky se vzorky byly vloženy do sušárny. Po usušení byla stanovena hmotnost sušiny (g). Stejný postup byl dodržen i o 2 týdny později při druhém odběru vzorků.



## 5 Výsledky

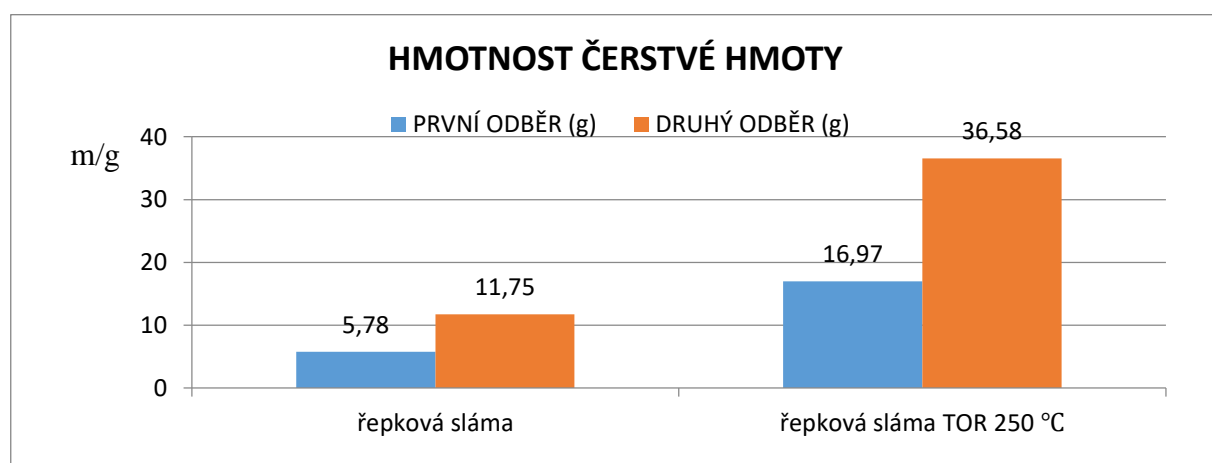
Obrázky a grafy znázorňují vliv torrefikátů na růst hlávkového salátu (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.), který byl pěstován v rašelině s příměsemi, po dobu šesti týdnů. V grafech jsou uvedeny naměřené hmotnosti (g) 10 rostlin pěstovaných v substrátu s příměsí uvedených materiálů neupravených i torrefikovaných při 250 °C. Z naměřených výsledků byly zpracovány grafy všech variant, posuzována byla produkce čerstvé hmoty i sušiny vyprodukované v jednotlivých substrátech.

### 5.1 Řepková sláma

Obrázek 10, znázorňuje hmotnost čerstvé biomasy vypěstované v substrátu se s příměsí řepkové slámy a substrátu s příměsí řepkové slámy torrefikované při teplotě 250 °C. Hmotnost 10 kusů celých čerstvých rostlin, byla v rozmezí od 5,78 g do 36,58 g. Nejnižší hodnota byla navážena při prvním odběru u varianty substrátu s řepkovou slámou – 5,78 g. Nejvyšší hmotnost naopak vykazovaly rostliny pěstované v substrátu s řepkovou slámou torrefikovanou při 250 °C, a to 36,58 g.

U varianty s řepkovou slámou došlo k nárůstu čerstvé hmoty o 50,8 % mezi prvním a druhým odběrem. Mezi odběry u torrefikované řepkové slámy při 250 °C došlo k nárůstu o 53,6 %. Hmotnost čerstvé hmoty při prvním odběru byla vyšší o 65,9 % ve prospěch řepkové slámy torrefikované při 250 °C. U druhého odběru mezi posuzovanými variantami je nárůst 67,9 %, také ve prospěch řepkové slámy torrefikované při 250 °C.

Tím bylo zjištěno, že nárůst čerstvé hmoty je větší vždy u torrefikované řepkové slámy.

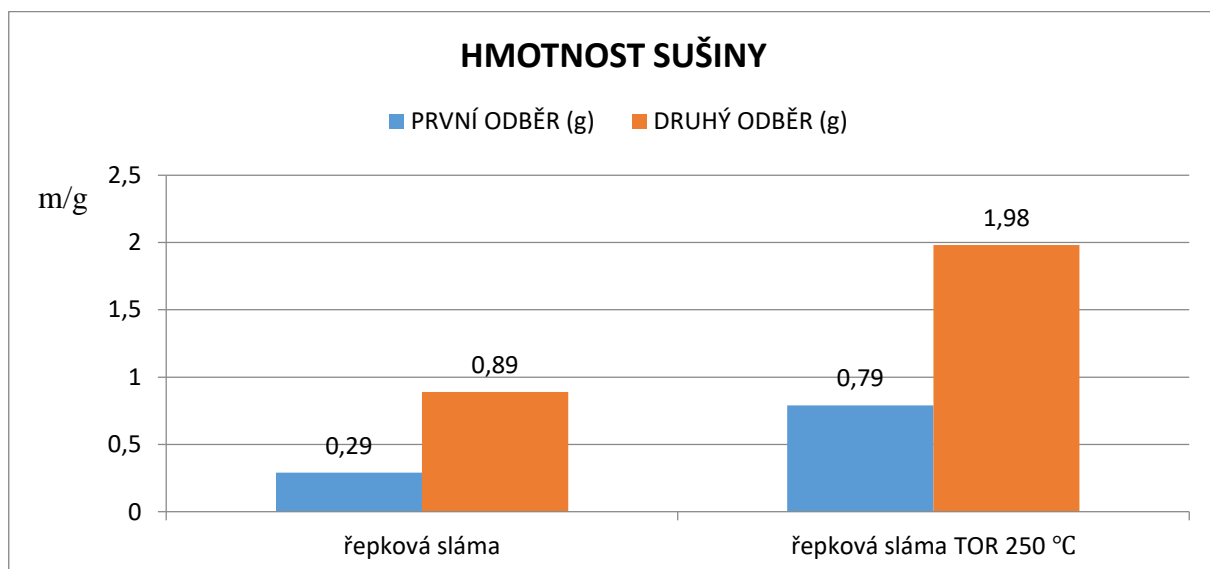


Obrázek 10: Hmotnost čerstvé hmoty u varianty řepková sláma a torrefikovaná řepková sláma.



Obrázek 11: Řepková sláma (žlutá vlajka, vlevo), torrefikovaná řepková sláma (žlutá + černá vlajka, vpravo).

Obrázek 12 ukazuje, kolik gramů sušiny vzniklo z 10 rostlin. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 0,29 g do 1,98 g. Nejnižší hodnota byla naměřena, při prvním odběru u substrátu s řepkovou slámou, 0,29 g. Nárůst u řepkové slámy, mezi prvním a druhým odběrem, byl 67,4 %. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u druhého odběru, torrefikované varianty – 1,98 g. K nárůstu došlo i u varianty s řepkovou slámou torrefikovanou při 250 °C, mezi prvním a druhým odběrem byl 60,1 %. Naměřenými hodnotami, bylo zjištěno, že jako vhodnější varianta se jevila torrefikovaná řepková sláma.



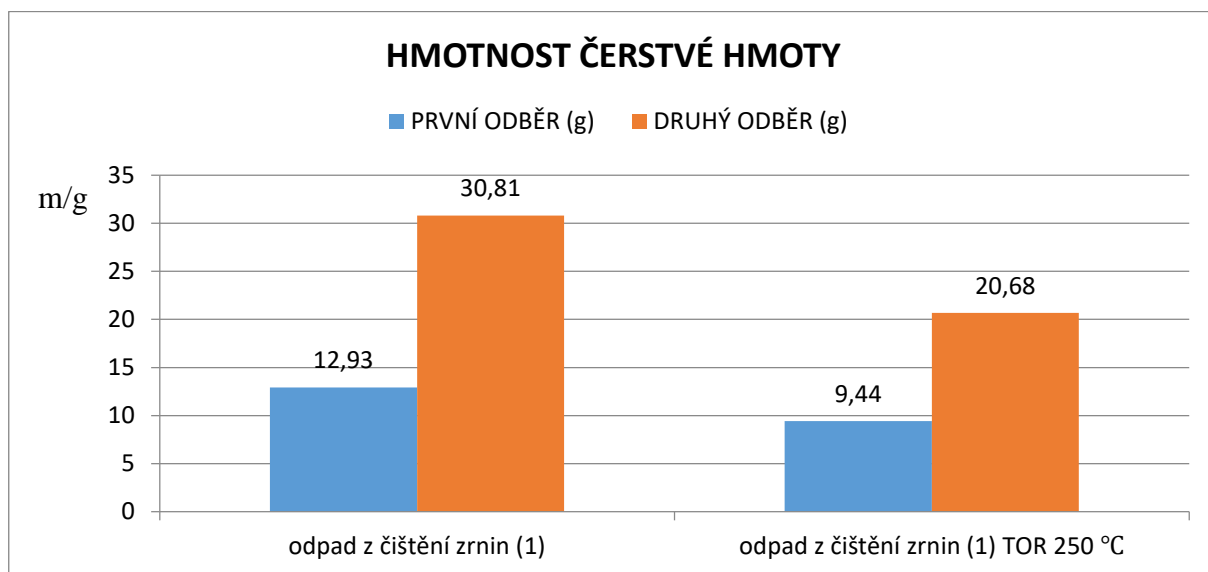
Obrázek 12: Hmotnost sušiny u varianty řepková sláma a torrefikovaná řepková sláma.

## 5.2 Odpad z čištění zrnin 1

Obrázek 13, znázorňuje hmotnost čerstvého materiálu pěstovaného v substrátu s přídavkem z čištění zrnin (1) a torrefikovaným vzorkem stejného materiálu. Hmotnost 10 celých čerstvých rostlin byla v rozmezí od 9,44 g do 30,81 g. Nejnižší hodnota byla u torrefikované varianty odpadů ze zrnin (1), při prvním odběru – 9,44 g. Nejvyšší hmotnost vykazovaly rostliny pěstované v substrátu s odpadem z čištění zrnin (1), a to 30,81 g.

Nárůst čerstvé hmoty, od prvního odběru do druhého, byl více než 50 % v obou případech.

Hmotnost čerstvé hmoty při prvním odběru byla o 27 % vyšší u odpadu z čištění zrnin (1), než u torrefikovaného materiálu. U druhého odběru mezi variantami byl nárůst o 33 % vyšší opět u odpadu z čištění zrnin (1). Tím bylo zjištěno, že více hmoty narostlo vždy v substrátu bez příměsi torrefikovaného materiálu.



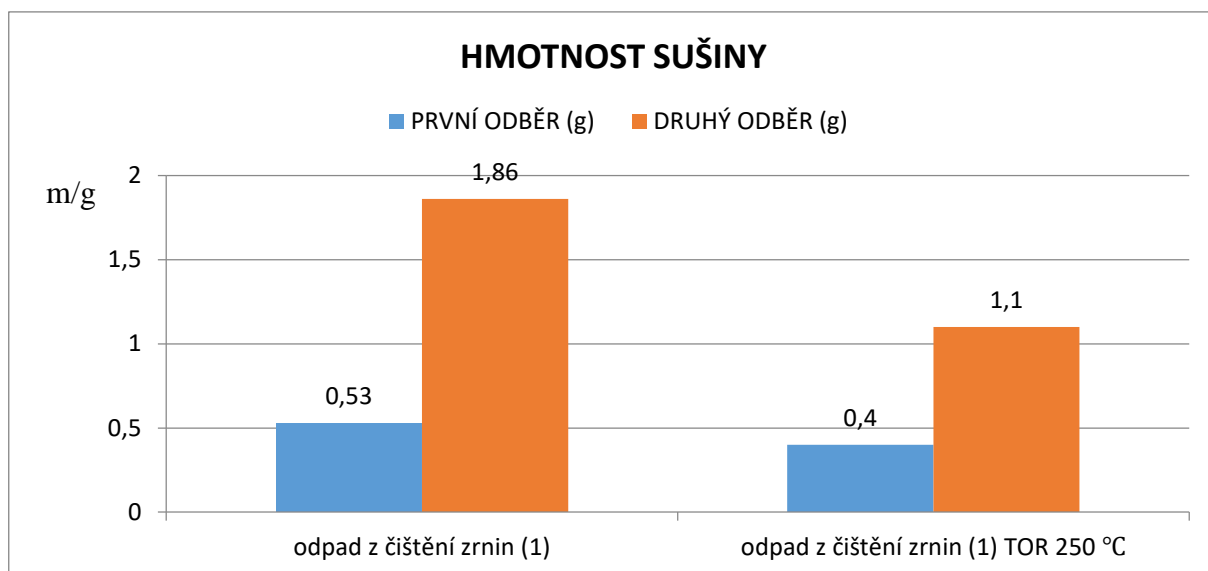
Obrázek 13: Hmotnost čerstvé hmoty u varianty odpad z čištění zrnin (1), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1).



Obrázek 14: Odpad z čištění zrnin (1), (červená vlajka, vlevo), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1), (červená + bílá vlajka, vpravo).

Obrázek 15 ukazuje, kolik gramů sušiny vzniklo z 10 rostlin. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 0,4 g do 1,86 g. Nejnižší hodnota byla naměřena při druhém odběru u substrátu s torrefikovaným odpadem ze zrnin (1) - 0,4 g. Nárůst hmotnosti sušiny rostlin u substrátu s odpadem z čištění zrnin (1), mezi odběry, byl 71,5 %. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u druhého odběru netorrefikované varianty – 1,86 g. Nárůst u torrefikované varianty, mezi odběry, činil 63,6 %.

Naměřenými hodnotami, bylo zjištěno, že vhodnější varianta je netorrefikovaná.



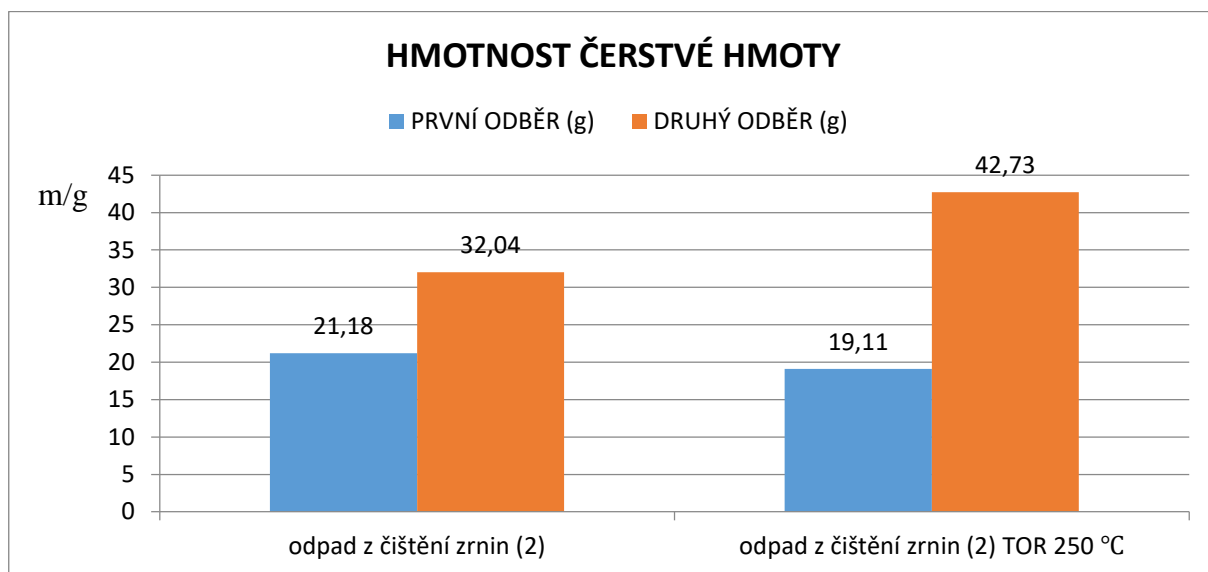
Obrázek 15: Hmotnost sušiny varianty odpad z čištění zrnin (1), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1).

### 5.3 Odpad z čištění zrnin 2

Obrázek 16, znázorňuje hmotnost čerstvého materiálu pěstovaného v substrátu s přídavkem z čištění zrnin (2) a torrefikovaným vzorkem. Hmotnost 10 celých čerstvých rostlin byla v rozmezí od 19,11 g do 42,73 g. Nejnižší i nejvyšší hodnota byla zjištěna u torrefikované varianty odpadů ze zrnin (2), při prvním odběru 19,11 g, při druhém odběru 42,73 g.

U substrátu s odpadem z čištění zrnin (2) došlo k nárůstu hmoty o 33,9 % mezi odběry. V případě s torrefikovaným materiálem, byl nárůst mezi odběry větší o 55,3 %.

Hmotnost čerstvé hmoty u prvního odběru mezi substráty byla o 10 % vyšší ve prospěch odpadu z čištění zrnin (2). U druhého odběru mezi substráty nastal obrat ve prospěch varianty torrefikované. Tím bylo zjištěno, že více hmoty narostlo do druhého odběru u varianty torrefikovaného odpadu ze zrnin (2).



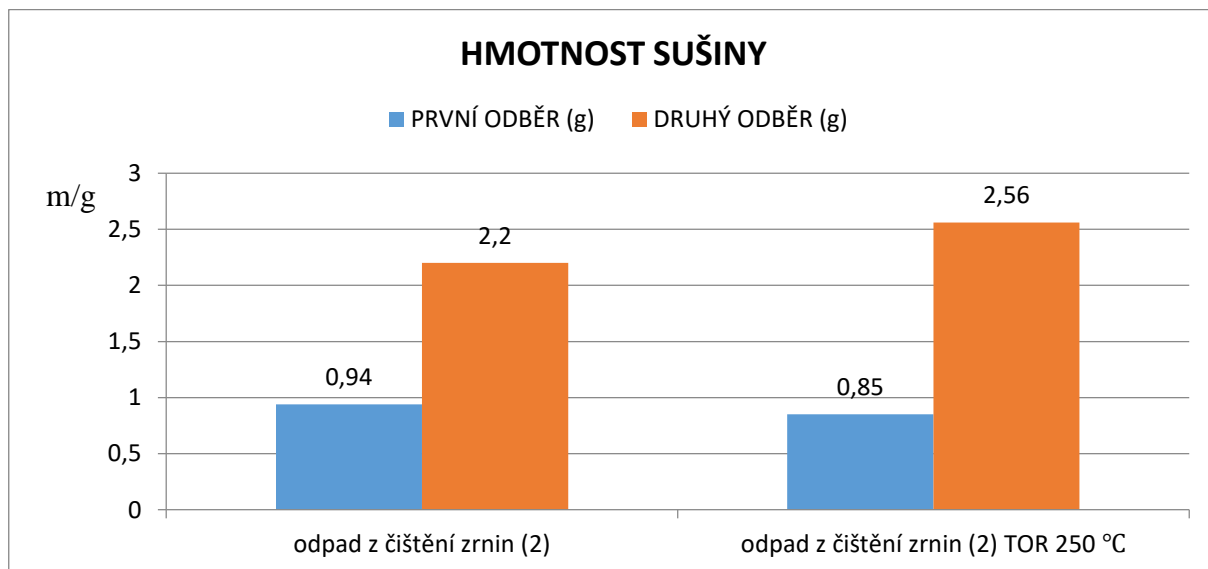
Obrázek 16: Hmotnost čerstvé hmoty u varianty odpad z čištění zrnin (2), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (2).



Obrázek 17: Odpad z čištění zrnin (2), (modrá vlajka, vlevo), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (2), (modrá + bílá vlajka, vpravo).

Obrázek 18 ukazuje, kolik gramů sušiny vzniklo z 10 rostlin. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 0,85 g do 2,56 g. Nejnižší hodnota byla naměřena při prvním odběru u substrátu s torrefikovaným odpadem ze zrnin (2) - 0,85 g. Nárůst u substrátu s odpadem z čištění zrnin (2), mezi odběry, byl 57,3 %. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u druhého odběru, druhé varianty – 2,56 g. Nárůst u torrefikované varianty mezi odběry činil 66,8 %.

Naměřené hodnoty prokazují, že nakonec se jevila lépe varianta torrefikovaná oproti předchozí směsi s odpadem z čištění zrnin (1).



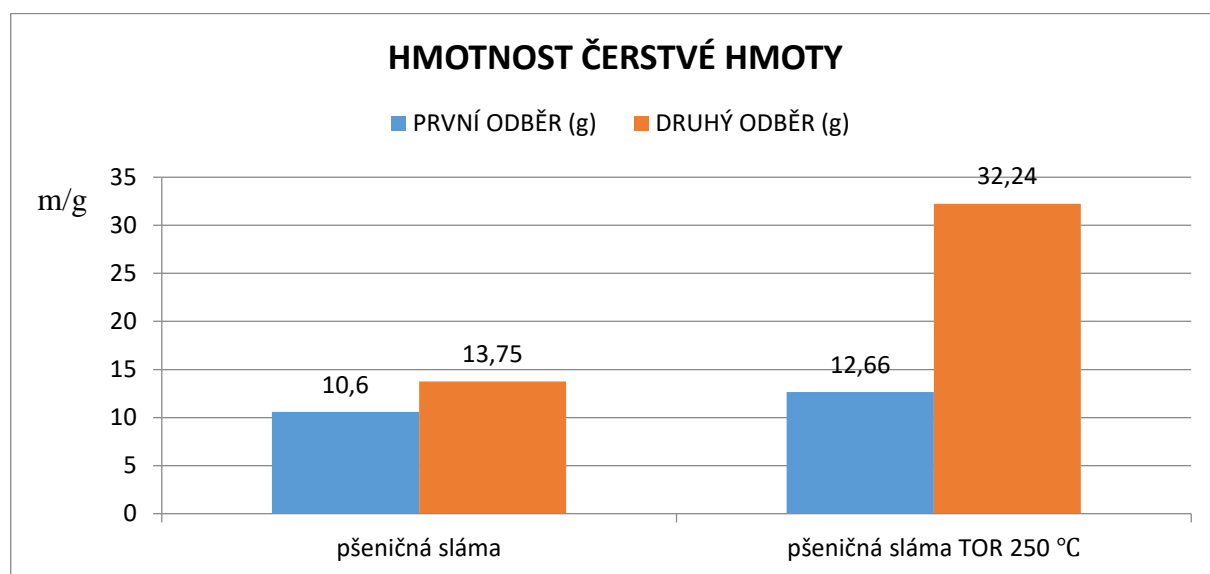
Obrázek 18: Hmotnost sušiny varianty odpad z čištění zrnin (1), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1).

## 5.4 Pšeničná sláma

Obrázek 19, znázorňuje hmotnost čerstvého materiálu pěstovaného v substrátu s přídavkem pšeničné slámy a torrefikované pšeničné slámy. Hmotnost 10 celých čerstvých rostlin byla v rozmezí od 10,60 g do 32,24 g. Nejnižší hodnota byla zjištěna u vzorku s pšeničnou slámou – 10,60 g. Nejvyšší hmotnost byla navážena u rostlin pěstovaných v substrátu s torrefikačně upravenou pšeničnou slámou - 32,24 g.

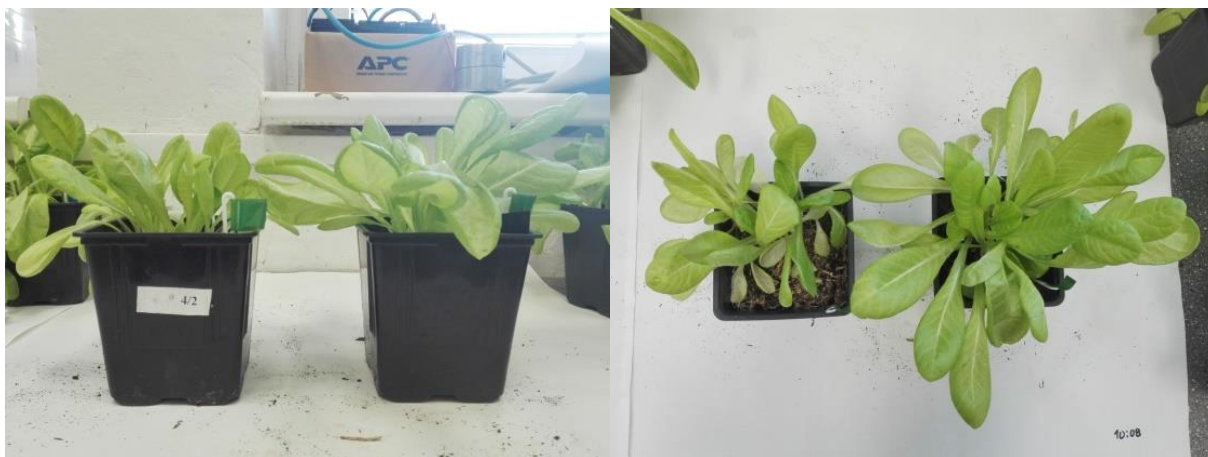
U substrátu s pšeničnou slámou byl nárůst mezi odběry 22,9 %. U torrefikované pšeničné slámy byl nárůst mezi odběry 60,7 %.

Hmotnost čerstvé hmoty u prvního odběru mezi variantami byla u torrefikované pšeničné slámy vyšší o 16,3 %. U druhého odběru mezi variantami byl nárůst u torrefikované pšeničné slámy 57,4 %. Tím bylo zjištěno, že více hmoty narostlo do druhého odběru u torrefikované pšeničné slámy.



Obrázek 19: Hmotnost čerstvé hmoty pšeničné slámy a torrefikované pšeničné slámy.

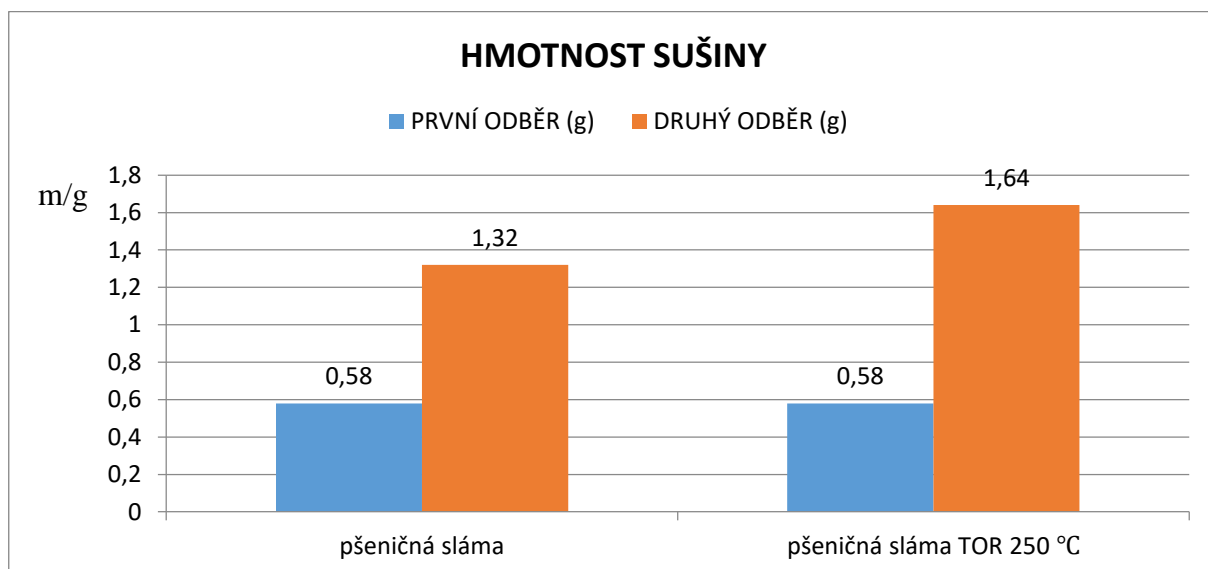




Obrázek 20: Pšeničná sláma (zelená vlajka, vlevo), torrefikovaná pšeničná sláma (zelená + černá vlajka, vpravo).

Obrázek 21 ukazuje, kolik gramů sušiny vzniklo z 10 rostlin. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 0,58 g do 1,64 g. Nejnižší hodnota byla naměřena při prvním odběru u obou substrátů shodná - 0,58 g. Nárůst u substrátu s pšeničnou slámou, mezi odběry, byl 56,1 %. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u druhého odběru torrefikované varianty – 1,64 g. Nárůst u torrefikované varianty mezi odběry činil 64,6 %.

Naměřenými hodnotami, bylo zjištěno, že jako lepší substrát pro pěstování rostlin je torrefikovaná pšeničná sláma.



Obrázek 21: Hmotnost sušiny pšeničné slámy a torrefikované pšeničné slámy.

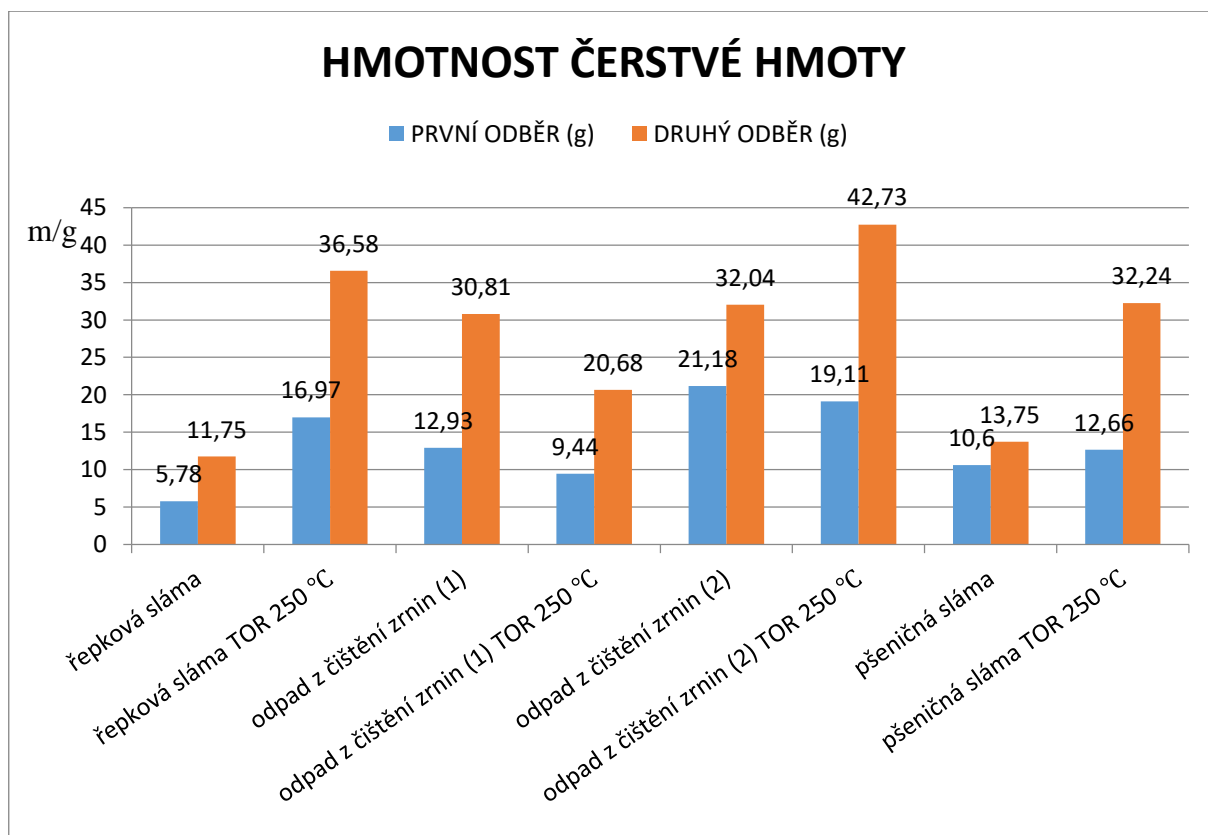


## 5.5 Hmotnost čerstvé biomasy – srovnání pokusných variant

Obrázek 22 ukazuje všechny hodnoty, které byly naváženy u 10 čerstvých rostlin, každé z posuzovaných variant. V prvním odběru se jevila jako nejhorší varianta s řepkovou slámou. Byla u ní navážena hmotnost pouze 5,78 g. Torrefikovaný materiál z odpadů zrnin (1), měl také malou hmotnost – 9,44. Naopak jako nejlepší substrát byl podle hmotnosti vyprodukované čerstvé hmoty ten s příměsí odpadu z čištění zrnin (2). Jeho hmotnost dosahovala 21,18 g. Ostatní substráty byly v rozmezí 12 – 22 g hmotnosti na 10 rostlin.

Při druhém odběru varianta s řepkovou slámou měla nejnižší výnos, bylo to 11,75 g, ale byly tu i jiné vzorky, které vykazovaly nízký výnos. Byl to substrát s pšeničnou slámou. U toho bylo naváženo jen 13,75 g. U substrátu odpadu z čištění zrnin (1) torrefikovaného bylo zjištěno 20,68 g. U ostatních variant bylo zjištěno množství více než 30 g, u odpadu z čištění zrnin (2) torrefikovaného bylo zjištěno dokonce přes 42 g.

Největší hmotnostní nárůst byl zaznamenán u odpadu z čištění zrnin (2) torrefikovaného, kde došlo od prvního odběru ke druhému, ke zvýšení hmotnosti 10 kusů čerstvých rostlin o 23,62 g. Nejnižší nárůst, mezi dvěma odběry, byl zjištěn u substrátu s pšeničnou slámou. Zde se jednalo jen o 3,15 g.



Obrázek 22: Hmotnost čerstvé hmoty všech vzorků.



Obrázek 23: Všechny vzorky (zleva řepková sláma, řepková sláma TOR 250 °C, odpad z čištění zrnin (1), odpad z čištění zrnin (1) TOR 250 °C, odpad z čištění zrnin (2), odpad z čištění zrnin (2) TOR 250 °C, pšeničná sláma a poslední (vpravo) pšeničná sláma TOR 250 °C.



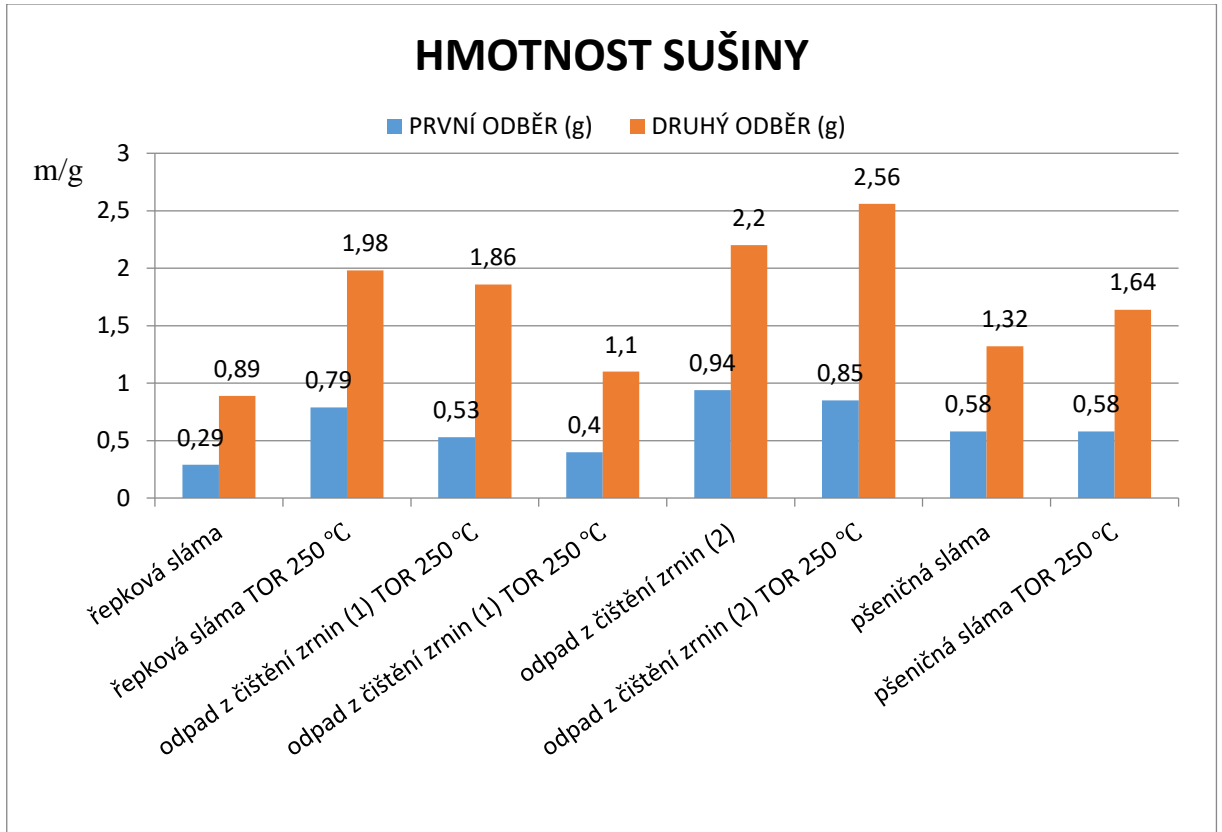
Obrázek 24: Všechny vzorky (zleva doprava) řepková sláma až pšeničná sláma.

## 5.6 Hmotnost sušiny – srovnání pokusných variant

Obrázek 25 zaznamenává veškeré hodnoty, které byly naváženy, po usušení 10 rostlin. Po vyjmutí prvního odběru ze sušárny nejnižší hodnotu vykazoval vzorek s řepkovou slámou 0,29 g, naopak nejvyšší hodnota byla zjištěna u vzorku s odpadem z čištění zrnin (2) 0,94 g. Jeden vzorek dosáhl hodnoty 0,4 g. Další 3 vzorky dosahovaly hodnot přes 0,5 g. Dva vzorky byly v rozmezí 0,7 – 0,9 g.

Po usušení druhého odběru, byl vzorek pěstovaný v řepkové slámě na poslední pozici s hmotností sušiny 0,89 g. Nejvyšší hmotnosti dosáhl vzorek s torrefikovaným odpadem zrnin (2) s hodnotou 2,56 g. Odpad z čištění zrnin (2) překročil hmotnost dvou gramů. U ostatních nezmiňovaných byla zaznamenány hodnoty v rozmezí 1,3 – 2 g.

Největší nárůst sušiny mezi odběry byl zjištěn u torrefikovaného odpadu z čištění zrnin (2) 1,71 g. Naopak nejnižší byl u řepkové slámy, pouze 0,6 g. Ještě další dva vzorky vykazovaly hmotnost pod 1 g. Ostatní čtyři vzorky měly přes 1 g, maximálně, ale do 1,4 g.



Obrázek 25: Hmotnost sušiny všech vzorků.

## 6 Diskuze

Biomasa je v dnešní době velice probírané a zkoumané téma. Proto je možno na ni nahlížet z různých úhlů pohledu. Wang & Zhongyang (2016) popisují biomasu jako veškerou organickou hmotu na planetě Zemi, odvozenou od všech živých organismů. Andert et al. (2006) se shoduje s předcházejícím tvrzením, ale dodává, že přírodní forma organické hmoty může vznikat pouze na základě fotosyntézy, a to přeměnou sluneční energie v rostlinách. Basu (2010) pohlíží na otázku biomasy z pohledu plynů a kapalin, kdy dochází stále dokola k interakci oxidu uhličitého, vody, vzduchu, slunečního záření a půdy. Vassilev et al. (2013) poukazuje dokonce i na malé množství anorganické složky vyskytující se v biomase.

Jelikož termochemické přeměny biomasy se řadí mezi nejstarší procesy zpracování (Elliott 2011). Vystává otázka, jestli je termochemická konverze nejlepším způsobem zpracování slámy a ostatního rostlinného odpadu, nebo se najde jiná a lepší cesta. Lima et al. (2005) tvrdí, že některé suroviny a procesy mohou vytvářet fyto toxické a potenciálně rakovinotvorné organické materiály. Proto by mělo docházet k vhodnému výběru, jak vstupního materiálu, tak především pyrolytického systému (McHenry 2009). Kára et al. (2002) prověřovali využití slámy pro kompostování, ale zjistili, že to není vhodná cesta vzhledem k vysokému poměru C:N (100:1), tím pádem by docházelo k pomalému rozkladu, ale zároveň zjistili, že je to vhodný doplněk k rychle se rozkládajícím materiálům (napomáhá ke stabilizaci N).

V České republice je velké množství odpadů v zemědělství a především slámy z obilovin, podle Kára (2003) je v tom velký energetický potenciál. Ekonomicky bylo zjištěno, že je to levnější než energie z dřevní štěpky. Dle Mafu et al. (2016) je nejvíce odpadů z pšeničné slámy a proto se domnívají, že vhodným zpracováním by se dala vyrobit elektřina.

Výroba biouhlí z různé vstupní biomasy vzbudila velký zájem o výzkum, proto aby se uhlík mohl izolovat ve formě tepelně stabilizované biomasy (Sohi et al. 2010). Studie poukázaly na to, že biouhlí účinně upravuje půdu, protože zlepšuje vlastnosti půdy (Asai et al. 2009; Laird et al. 2010). Byla také prokázána vlastnost odstraňování kontaminantů (organických i anorganických) z půdy (Uchimiya et al. 2010b). Aplikace biouhlí vedla ke zlepšení fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy (Sohi et al. 2010). Biouhlí získané z rostlinných materiálů je považováno více za půdní kondicionér nežli hnojivo. Zatím co biouhlí z hospodářského odpadu funguje jako hnojivo, které uvolňuje živiny do půdy a

zároveň i jako kondicionér půdy (Uchimiya et al. 2010a). Lehmann (2007) tvrdí, že biouhli vyrobené pod 400 °C, může fungovat jen jako zlepšovač půdy.

V našem experimentu byl zkoumán vliv biouhli, vzniklého procesem torrefikace při teplotě 250 °C. Vybranou rostlinou pro testování byl salát hlávkový (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). Vliv biouhli na růst rostlin byl již testován na cherry rajčatech (*Lycopersicon esculentum*) biouhlim z odpadních vod (Hossain et al. 2010), jarní cibuli (*Allium cepa*) biouhlim z *Eucalyptus* spp. (Yu et al. 2009), indické hořčici (*Brassica juncea*) biouhlim z rostlinného odpadu a slepičího hnoje (Park et al. 2011) ředkvičce seté (*Raphanus sativus*) a jarním ječmeni (*Hordeum vulgare*). U posledních dvou jmenovaných došlo ke snížení výnosu v důsledku aplikace biouhli (Nelissen et al. 2014). Novak et al. (2009) předpokládali, že biouhel připravený za vysokých teplot půdě prospěje mnohem více, než ten za nižších teplot. Proto je důležité brát v potaz, jak bylo biouhli připravováno (Gaskin et al. 2008). Pereira et al. (2012) klade důraz také na velikost a tvar částic materiálu a způsob jejich zpracování.

Matovic (2010) předpokládá, že optimum biouhli dodaného do substrátu je 1 až 5 %. Pokus Park et al. (2011) dokázal, že ideálem je 1 % biouhli a 99 % substrátu pro největší produktivitu rostlin s důrazem na úroveň aplikace a povahy samotného biouhli. Naše výsledky potvrdily hypotézu o charakteru a ideálním 5 % obsahu biouhli v zemině. Substráty s řepkovou a pšeničnou slámou vykazovaly značně malý výnos biomasy v rozmezí 5,78 g až 16,97 g při prvním odběru a 11,75 až 36,58 g při druhém na 10 rostlin. Z toho můžeme usuzovat, že 5 % koncentrace byla pro rostliny již toxická a bylo by vhodné obsah snížit na 1 % nebo naopak nedostačující a bylo by potřeba obsah biouhli z řepkové a pšeničné slámy ještě navýšit. Naopak substráty z odpadů z čištění zrnin (1) a (2) při koncentraci biouhli 5 % prospívaly velice dobře a měly vysoké výnosy biomasy, v rozmezí 9,44 g až 21,18 g při prvním odběru a 20,68 g až 42,73 g při druhém na 10 rostlin. Biouhli by mohlo sloužit k nepřímému zvyšování růstu a výnosu rostlin prostřednictvím živin dodávaných do půdy a zlepšováním fyzikálních a biologických vlastností půdy (Lehmann et al. 2006). V našem případě biouhli připravené torrefikací pozitivně ovlivnilo růst rostlin ve většině případů, ale zároveň mezi torrefikovanými variantami byl vzrůstově velký rozdíl. Nejhorší výsledek byl zjištěn u substrátu s torrefikovanou řepkovou slámou a nejlepší u substrátu s torrefikovaným odpadem z čištění zrnin (2). Park et al. (2011) tvrdí, že biouhli z rostlinného odpadu snižuje koncentraci kovů v rostlině zvýšeným růstem. Toto tvrzení naše výsledky nemohou potvrdit vzhledem k velkým odlišnostem naměřených hodnot.

Podle hypotéz Xingxing et al. (2019) by bylo možné torrefikovat biomasu přímo na poli pomocí torrefikačního tanku a solárního kolektoru, který by byl schopen vytvořit teplotu

200 – 250 °C. Hassanzadeh et al. (2018) tvrdí, že solární kolektor dokáže dodávat stabilně 100 – 300 °C. Naše výsledky potvrdily, že torrefikovaný materiál z řepkové slámy, pšeničné slámy a odpadu z čištění zrnin (2) v substrátech podpořily růst rostlin oproti variantám netorrefikovaným. Z toho lze usuzovat, že torrefikované rostlinné odpady by mohly být úspěšně používány v budoucnu jako přírodní hnojivo.

## 7 Závěr

V této bakalářské práci byl sledován a hodnocen vliv torrefikátů na růst vybraného druhu rostliny. Pro zkoumání byl vybrán salát hlávkový (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). Salát hlávkový byl pěstován v 8 různých variantách substrátů. Rašelina byla vždy smíchána s jinou příměsí, ale pokaždé ve stejném poměru. Od každého materiálu byla varianta kontrolní a varianta torrefikovaná.

- Každý substrát působil jinak na růst hlávkového salátu (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). Byly v nich značné rozdíly.
- Jako nejméně vhodné se ukázaly dva substráty, které dosáhly nejmenšího nárůstu ve hmotě salátu. Je to substrát s řepkovou slámou a substrát s pšeničnou slámou.
- Nejlepší varianta se dá vyhodnotit velice těžce, pro velké rozdíly mezi prvním a druhým odběrem. Za nejkratší čas (měsíc) vytvoří nejvíce hmoty varianta s odpadem z čištění zrnin (2). Skokovým nárůstem (za 14 dní) se projevila varianta s odpadem z čištění zrnin (2) torrefikovaná při 250 °C.
- S jistotou lze tvrdit, že netorrefikované varianty slámy nejsou nikterak přínosné pro růst rostlin.
- Materiál, který prošel procesem torrefikace byl ve většině případů mnohem přínosnější pro vývoj a růst rostlin, než ten netorrefikovaný. S jedinou výjimkou – torrefikovaným odpadem z čištění zrnin (1).

## 8 Literatura

Andert D, Sladký V, Abrham Z. 2006. Energetické využití pevné biomasy. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky.

Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Research*. **111**: 81–84.

Baskar C, Baskar S, Dhillon RS. 2012. *Biomass Conversion: The Interface of Biotechnology, Chemistry and Materials Science*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

Basu P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: practical design and theory*. 1st edition. Elsevier, Oxford.

Basu P. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction: Practical Design and Theory*. 2nd edition. Academic Press, Amsterdam.

Capareda SC. 2014. *Introduction to Biomass Energy Conversions*. CRC Press.

Diebold JP, Bridgwater AV. 1997. Overview of Fast Pyrolysis of Biomass for the Production of Liquid Fuels. Page 6 in Bridgwater AV, Boocock DGB, editors. *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackie Academic & Professional.

Elliott DC. 2011. *Hydrothermal processing. Thermochemical processing of biomass: Conversion into fuels, Chemicals and power*. John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom.

E4tech. 2009. *Review of technology for the gasification of biomass and wastes*.

Fengel D, Wegener G. 1984. *Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Waster & Grugter, Berlin and New York.



- Funke A, Ziegler F. 2010. Hydrothermal carbonization of biomass: a summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. **4**: 160–77.
- Gaskin JW, Steiner C, Harris K, et al. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis condition on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*. **51 (6)**: 87-92.
- Harris P. 1999. ‘On charcoal’. *Interdisciplinary Science Reviews*. **24**: 301 – 306.
- Hassanzadeh A, Jiang L, Winston R. 2018. Coupled optical-thermal modeling, design and experimental testing of a novel medium-temperature solar thermal collector with pentagon absorber. *Solar Energy*. **173**: 1248–1261.
- Hossain MK, Strezov V, Chan KY, Nelson PF. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*. **78**: 1167–1171.
- Kára J. 2003. Sláma jako palivo - technické předpoklady a ekonomika. *Biom. cz*.
- Kára J, Pastorek Z, Jelínek A. 2002. Kompostování zbytkové biomasy. *Biom. cz*.
- Klass. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. Academic Press, San Diego.
- Knoef, HAM. 2005. *The Handbook Biomass Gasification: Syngas production and utilisation*. Energy research Centre of the Netherlands, Netherlands.
- Kraska P, Oleszczuk P, Andruszczak S, Kwiecińska - Poppel E, Rózyło K, Palys E, Gierasimiuk P, Michalójc Z. 2016. Effect of various biochar rates on winter rye yield and the concentration of available nutrients in the soil. *Plant, Soil and Environment*. **62**: 483 – 489.
- Kuhlbusch TA, Crutzen PJ. 1995. Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO<sub>2</sub> and source of O<sub>2</sub>. *Global Biogeochemical Cycles*. **9**: 491 – 501.

Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. **158**: 443–449.

Lede J, Diebold JP, Peacocke GVC, Piskorz J. 1997. The Nature and Properties of Intermediate and Unvaporized Biomass Pyrolysis Materials. Page 27 in Bridgwater AV, Boocock DGB, editors. *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*. Springer, Dordrecht.

Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **5**: 381-387.

Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. **11**: 403–427.

Lehmann J, Kern DC, Glaser B, Woods WI. 2003. *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. The Netherlands: Kluwer Publishers.

Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Maisello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology & Biochemistry*. **43**: 1812 – 1836.

Libra JA, Ro KS, Kammann C, Funke A, Berge ND, Neubauer Y, Titirici MM, Fuhner C, Bens O, Kern J, Emmerich KH. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*. **2 (1)**: 89 – 124.

Lima A, Farrington J, Reddy C. 2005. Combustion-derived polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment - a review. *Environmental Forensics*. **6**: 109-131.

Loo S van, Koppejan J. 2008. *The Handbook of Biomass Combustion & Co-firing*. Earthscan, London.

- Mafu LD, Neomagus HWJP, Everson RC, Carrier M, Strydom CA, Bunt JR. 2016. Structural and chemical modifications of typical South African biomasses during torrefaction. *Bioresource Technology*. **202**: 92–197.
- Matovic D. 2010. Biochar as a viable carbon sequestration option: global and Canadian perspective. *Energy*. **36**: 2011–2016.
- McHenry MP. 2009. Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **129 (1-3)**: 1-7.
- McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology* **83**: 47–54.
- Mohan D, Pittman ChU, Steele PH. 2006. Pyrolysis of Wood/ Biomass for Bio-oil: A critical Review. *Energy & Fuels*. **20 (3)**: 848-889.
- N. B. of C. & E. 2008. *The Complete Book on Biomass Based Products: Biochemicals, Biofuels, Activated Carbon*. Asia Pacific Business Press. India.
- Nelissen V, Ruyschaert G, Müller-Stöver D, Bodé S, Cook J, Ronsse F, Shackley S, Boeckx P, Hauggaard-Nielsen H. 2014. Short-Term Effect of Feedstock and Pyrolysis Temperature on Biochar Characteristics, Soil and Crop Response In Temperate Soils. *Agronomy*. **4 (1)**: 52-73.
- Novak JM, Busscher WJ. 2009. Impact of biochar amendment of fertility of a southeastern coastal plain. *Soil Science*. **174**: 105-112.
- Park JH, Choppala GK, Bolan NS et al. 2011. *Plant Soil*. **348**: 439.
- Pereira RC, Kaal J, Arbestain MC, Lorenzo RP, Aitkenhead W, Hedley M, et al. 2012. Contribution to characterisation of biochar to estimate the labile fraction of carbon. *Organic Geochemistry*. **42**: 1331-1342.

- Petříková K. 2006. Zelenina: pěstování, ekonomika, prodej. Profi Press. Praha.
- Petříková V. 2004. Pěstování rostlin pro energetické účely. Praha.
- Reza MT. 2011. Hydrothermal Carbonization of Lignocellulosic Biomass. Reno: University of Nevada.
- Rosendahl L. 2017. Direct Thermochemical Liquefaction for Energy Application. Woodhead Publishing, Oxford.
- Scheller HV, Ulvskov P. 2010. Hemicelluloses. Annual Review Plant Biology. **61**: 263-289.
- Schmidt HP. 2010. 55 Uses of Biochar. Journal for ecology, winegrowing, climate fading.
- Schmidt MWI, Skjemstad JO, Czimeczik CI, Glaser B, Prentice KM, Gelinas Y, Kuhlbusch TAJ. 2001. Comparative analysis of black carbon in soils. Global Biogeochemical Cycles. **15** (1): 163 – 167.
- Scholz R, Beckmann M, Schulenburg F. 2001. Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. Teubner-Reihe Umwelt, Stuttgart - Leipzig.
- Smith JL, Collins HP, Bailey VL. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. Soil Biology & Biochemistry. **42**: 2345 – 2347.
- Sohi SP, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. Advances in Agronomy. **105**: 47–82.
- Srdečný K. 2009. Obnovitelné zdroje energie, Přehled druhů a technologií. Ministerstvo životního prostředí. Praha.
- Strezov V, Evans TJ. 2014. Biomass Processing Technologies. CRC Press.

Theander O. 1985. Cellulose, Hemicellulose and Extractives. Pages 35 – 60 in Overend RP, Milne TA, Mudge LK, editors. Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion. Springer, Dordrecht.

Trávníček P, Vitázek I, Vítěz T, Kotek L, Junga P. 2015. Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití. ASTRON studio CZ, Praha 9.

Uchimiya M, Lima IM, Klasson KT, Wartelle LH. 2010a. Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: Roles of natural organic matter. Chemosphere. **80**: 935–940.

Uchimiya M, Lima IM, Klasson T, Chang S, Wartelle LH, Rodgers JE. 2010b. Immobilization of heavy metal ions (CuII, CdII, NiII, and PbII) by broiler litter-derived biochars in water and soil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. **58**: 5538–5544.

Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG. 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1: phase-mineral and chemical composition and classification. Fuel. **105**: 40–76.

Wang S, Zhongyang L. 2016. Pyrolysis of biomass: Green alternative energy resources. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, Boston.

Woods WI, Teixeira WG, Lehmann J, Steiner Ch, Winkler Prins AMGA, Rebellato L. 2009. Amazonian Dark Earths. Wim Sombroek's Vision. Springer Science. Berlin, Germany.

Xingxing Ch, Zhi H, Zhiqiang W, Chunyuan M, Shouyan Ch. 2019. A novel on-site wheat straw pretreatment method: Enclosed torrefaction. Bioresource Technology. **281**: 48-55.

Yao Y, Wu F. 2015. Naturally derived nanostructured materials from biomass for rechargeable lithium/sodium batteries. Nano Energy. **17**: 91-103.

Yu XY, Ying GG, Kookana RS. 2009. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. *Chemosphere*. **76**: 665–671.

Yusof JM, Salleh MAM, Rashid SA, Ismail I, Adam SN. 2014. Characterisation Of Carbon Particles (Cps) Derived From Dry Milled Kenaf Biochar. *Journal of Engineering Science Technology* **9** :125-131.

Zámostný P, Kurc L. 2011. Vliv podmínek a složení suroviny na pyrolýzu dřevní hmoty. *Chemické listy* **105**: 458-466.

Zhang H, Chen Ch, Gray ME, Boyd ES, Yang H, Zhang D. 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. *Geoderma*. **276**: 1-6.

Zhang L, Jiang J, Holm N, Chen F. 2014. Mini-chunk biochar supercapacitors. *Journal of Applied Electrochemistry*. **44**: 1145-1151.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

Bechník B. 2009. Biomasa-definice a členění. Tzb info. Available from <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/5641-biomasa-definice-a-cleneni> (accessed November 2018).

Moravo Seed. Available from <https://moravoseed.cz/index.php?stranka=sortiment&kategorie=1&druh=68> (accessed March 2019).

Semo a.s.. Available from <https://www.semo.cz/eshop/salat-hlavkovy-smeraldo-3841b/>  
<https://www.semo.cz/osivo-semena/hobby/zelenina/salat-hlavkovy-pro-pole/>  
<https://www.semo.cz/osivo-semena/hobby/hinformace/barevne-sacky-zelenina/>  
(accessed March 2019).

Stupavský V. 2011. Energetická biomasa je součástí trhu. Zemědělec. Available from <https://zemedelec.cz/energeticka-biomasa-je-soucasti-trhu-2/> (accessed January 2019).

Stupavský V. 2013. Situace v produkci a využití pelet. Zemědělec. Available from <https://zemedelec.cz/situace-v-produkci-a-vyuziti-pelet-2/> (accessed January 2019).

Škorpík J. 2006. Biomasa jako zdroj energie. Transformační technologie. Available from <http://www.transformacni-technologie.cz/03.html> (accessed February 2019).

Trnavský J. 2011. Termochemický rozklad rostlinné hmoty. Zemědělec. Available from <https://zemedelec.cz/termochemicky-rozklad-rostlinne-hmoty/> (accessed February 2019).

Vobořil D. 2017. Biomasa-využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. Available from <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/> (accessed November 2018).

## 9 Seznam obrázků a tabulek

### 9.1 Obrázky

Obrázek 1: Schématické znázornění celulózy.....	6
Obrázek 2: Schématické znázornění hemicelulózy.....	7
Obrázek 3: Monomery ligninu.....	8
Obrázek 4: Procesy, které se provádí s biomasou.....	13
Obrázek 5: Proces zplyňování.....	14
Obrázek 6: Semena salátu hlávkového.....	23
Obrázek 7: Pokyny pro vysévání.....	23
Obrázek 8: Založená varianta s řepkovou slámou (vlevo).....	24
Obrázek 9: Založená varianta torrefikovaný odpad z čištění zrnin 2 (vpravo).....	24
Obrázek 10: Hmotnost čerstvé hmoty u varianty řepková sláma a torrefikovaná řepková sláma.....	26
Obrázek 11: Řepková sláma (žlutá vlajka, vlevo), torrefikovaná řepková sláma (žlutá + černá vlajka, vpravo).....	27
Obrázek 12: Hmotnost sušiny u varianty řepková sláma a torrefikovaná řepková sláma.....	27
Obrázek 13: Hmotnost čerstvé hmoty u varianty odpad z čištění zrnin (1), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1).....	28
Obrázek 14: Odpad z čištění zrnin (1), (červená vlajka, vlevo), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1), (červená + bílá vlajka, vpravo).....	28
Obrázek 15: Hmotnost sušiny varianty odpad z čištění zrnin (1), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1).....	29
Obrázek 16: Hmotnost čerstvé hmoty u varianty odpad z čištění zrnin (2), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (2).....	30
Obrázek 17: Odpad z čištění zrnin (2), (modrá vlajka, vlevo), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (2), (modrá + bílá vlajka, vpravo).....	30
Obrázek 18: Hmotnost sušiny varianty odpad z čištění zrnin (1), torrefikovaný odpad z čištění zrnin (1).....	31
Obrázek 19: Hmotnost čerstvé hmoty pšeničné slámy a torrefikované pšeničné slámy.....	31
Obrázek 20: Pšeničná sláma (zelená vlajka, vlevo), torrefikovaná pšeničná sláma (zelená + černá vlajka, vpravo).....	32
Obrázek 21: Hmotnost sušiny pšeničné slámy a torrefikované pšeničné slámy.....	32



Obrázek 22: Hmotnost čerstvé hmoty všech vzorků.....	33
Obrázek 23: Všechny vzorky (zleva řepková sláma, řepková sláma TOR 250 °C, odpad z čištění zrnin (1), odpad z čištění zrnin (1) TOR 250 °C, odpad z čištění zrnin (2), odpad z čištění zrnin (2) TOR 250 °C, pšeničná sláma a poslední (vpravo) pšeničná sláma TOR 250 °C.....	34
Obrázek 24: Všechny vzorky (zleva doprava) řepková sláma až pšeničná sláma.....	34
Obrázek 25: Hmotnost sušiny všech vzorků .....	35

## 9.2 Tabulky

Tabulka 1: Druhy rostlinné biomasy a jejich průměrná výhřevnost.....	12
--	----

## 9.3 Zkratky

BRKO = biologicky rozložitelný komunální odpad

BRPO = biologicky rozložitelný průmyslový odpad

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = peroxid vodíku

HTC = hydrotermická karbonizace

CH<sub>4</sub> = metan

C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> = cukr (glukóza)

CO = oxid uhelnatý

CO<sub>2</sub> = oxid uhličitý

m/g = hmotnost v gramech

TOR = torrefikovaný materiál