

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Alena Mašindová

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

BIOCHAR JAKOŽTO NÁSTROJ OCHRANY VODY A  
PŮDY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.  
Diplomant: Bc. Alena Mašindová

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Alena Mašindová

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

Název práce

Biochar jakožto nástroj ochrany vody a půdy

Název anglicky

Biochar as a water and soil protection tool

---

Cíle práce

Diplomová práce s názvem „Biochar jakožto nástroj ochrany vody a půdy“ je zaměřena na problematiku biocharu a jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Cílem práce je zjistit současný stav, využitelnost a jeho prospěšnost pro životní prostředí, zejména ochranu vody a půdy. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

V teoretické části je představen původ, vlastnosti a využití biocharu a v neposlední řadě jeho vymezení v české legislativě. Čtenáři je tedy objasněna problematika biocharu celé jeho šíří. Je popsán staronový způsob udržení úrodné půdy. Praktická část je zpracovávána metodou studie proveditelnosti. Jedná se o analýzu využitelnosti biocharu pro zemědělské účely.

Metodika

Hlavním cílem předkládané diplomové práce je zjištění současného stavu, využitelnost a prospěšnost biocharu pro ochranu vody a půdy. Tento cíl byl zvolen z důvodů zjištění, jaké má toto půdní aditivum v dnešním zemědělství zastoupení a jak je pro něj efektivní, využitelná a prospěšná v rámci trvale udržitelného rozvoje.

Dalším cílem práce je deskripce složení biocharu, jeho sorpčních vlastností tzn. hydrofilicity a hydrofobicity ve vazbě na zvolenou technologii jeho výroby. Následně je cílem popis využití biocharu se zaměřením na ochranu půdy a vod a vymezení legislativního prostředí ve vztahu k jeho využití

Posledním cílem této práce je stanovení využitelnosti biocharu jakožto zemědělského aditiva na modelovém území.

Praktická část je zpracována formou analýzy literárních, internetových a legislativních zdrojů. Část praktická využívá metodu studie proveditelnosti, která je zaměřena na analyzování konkrétní zemědělské půdy, kde je sledována efektivita a prospěšnost biocharu.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

biochar, biouhel, ochrana, biomasa, pyrolýza, půda, sorpce, voda

---

**Doporučené zdroje informací**

- BALTRENAITE, Edita. A review of lignocellulosic biochar modification towards enhanced biochar selectivity and adsorption capacity of potentially toxic elements. (online) 2018.
- BAOWEI, Zao. The fundamentals of Biochar as a Soil amendment tool and management in agriculture scope: an overview for farmers and gardeners. (online) 2017.
- BJEREEGAARD, Petr Puol, SUSSE, Georg, BRUUN Sander. The social shaping of technology a case study of biochar in Denmark. (online) 2011.
- HAUSEROVÁ, Eva. Možnosti permakulturního farmaření ve střední Evropě. (online) 2018.
- HONGBO, Li a kol. Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications. (online) 2017.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

---

**Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2020**

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

**Elektronicky schváleno dne 10. 3. 2020**

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 16. 06. 2020

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Biochar jakožto nástroj ochrany vody a půdy“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou 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 vědoma, že odevzdáním diplomové 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 ..... dne .....

.....

Alena Mašindová

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala mé vedoucí diplomové práce Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D. za odborné vedení, rady, cenné připomínky a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky. V neposlední řadě děkuji své rodině.

## **Abstrakt**

Mašindová, A., 2020: Biochar jakožto nástroj ochrany vody a půdy. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 83 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Diplomová práce s názvem „Biochar jakožto nástroj ochrany vody a půdy“ je zaměřena na produkt zvaný biochar, včetně výroby a jeho vlastností. Problematika biocharu je v dnešní době velmi diskutovaná v souvislosti se zemědělstvím a životním prostředím. Cílem práce je zjistit využitelnost a příznivé dopady na životní prostředí, především oblast vody a půdy. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. V teoretické části je představen původ, vlastnosti či využití biocharu. Praktická část vyhodnocuje výsledky z polních pokusů aplikace směsi biocharu s močůvkou. Závěry vyvozené z pokusů jsou porovnány s již publikovanými daty jiných pracovišť. Diplomová práce vyzdvihuje benefiční vlastnosti biocharu.

**Klíčová slova:** biochar, ochrana, biomasa, pyrolýza, půda, sorpce, voda

## **Abstract**

Mašindová, A., 2020: Biochar as a water and soil protection tool. Czech University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences, Prague. 83 p. (diploma thesis). „unpublished“. Dep. SIC ČZU in Prague.

This diploma thesis called “Biochar as a water and soil protection tool” is predominantly focused at biochar including its production and traits. The aim of this thesis is to describe positive impacts on the living environment especially water and soil environment. The entire thesis is divided into two parts, namely theoretical and practical part. In the theoretical part, the origin of biochar, traits and usage of biochar are described. In the practical part, the data from the field experiment are compiled and compared with different data from different institutions. This diploma thesis emphasizes promising and beneficial traits of biochar and moreover, it shows several hints in terms of applications on the field.

**Keywords:** biochar, protection, biomass, pyrolysis, soil, sorption, water



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Biochar .....</b>	<b>5</b>
4.1	Terminologické vymezení biocharu.....	5
4.2	Historie biocharu.....	7
4.3	Vlastnosti biocharu.....	8
4.3.1	Fyzikální vlastnosti biocharu .....	8
4.3.2	Chemické vlastnosti biocharu .....	13
4.3.3	Biologické vlastnosti biocharu.....	15
4.4	Využití .....	15
4.5	Použití.....	16
4.6	Výroba .....	18
4.6.1	Pyrolýza .....	19
4.6.2	Torefakce .....	27
4.6.3	Karbonizace .....	27
4.6.4	Zplyňování.....	28
4.6.5	Suroviny, které jsou potřebné pro výrobu biocharu.....	28
4.7	Ekotoxicita.....	30
4.8	Finanční náročnost biocharu.....	30
<b>5</b>	<b>Vztah biocharu k životnímu prostředí.....</b>	<b>31</b>
5.1	Biochar a ochrana půdy .....	32
5.2	Biochar a ochrana vody .....	35
<b>6</b>	<b>Polní testy .....</b>	<b>38</b>
6.1	Základní údaje o polních testech.....	38

6.2	Popis polních testů .....	40
6.3	Použitý materiál .....	41
<b>7</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>46</b>
7.1	Analýza odebraných vzorků z vybrané lokality.....	46
7.2	Analýza odebraných vzorků z připravované směsi.....	47
<b>8</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>54</b>

## Seznam použitých zkratek

ČOV	Čistička odpadních vod
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organizace pro výživu a zemědělství Spojených národů)
IBI	International Biochar Initiative
KVK	Kationtová výměnná kapacita
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

# 1 Úvod

V dnešním, moderním a neustále se rozvíjejícím světě se dopady znečištění na životní prostředí budou stále výrazněji projevovat. Ať už ve formě extrémních přírodních a klimatických jevů, nedostatku pitné vody, vymírání druhů, a tím snižování biodiverzity či tolik diskutovaným globálním oteplováním. Nelze přesně stanovit, která ze zmíněných hrozeb je pro naši vzrůstající populaci destruktivnější. Se stále rostoucími problémy týkajícími se životního prostředí je tvořen stále větší prostor pro opatření, která by mohla být uvedena v praxi. Jedná se však o řešení, která jsou koncipována ve velkém měřítku a měla by být implementována téměř do celé společnosti.

Vědecké studie potvrzují celou řadu hrozeb a výzkum se zaměřuje na různé možnosti. Dle Joseph & Lehmann (2009) může v současné ekologické krizi pomoci produkt zvaný biochar. Ani zdaleka se nejedná o nový vynález, ale o starodávný koncept používaný již dávnými civilizacemi Jižní Ameriky. Jako anglický název se dříve používal charcoal, nyní je modifikován na biochar, který je označován v literatuře taktéž českým ekvivalentem biouhel. Pro jednotnost bude v práci používán pouze termín biochar, který lze jednoduše definovat jako zuhelnatěný organický materiál – biomasu, vzniklý procesem odborně nazvaným pyrolýza.

V posledních dvaceti letech dostupnost informací ohledně biocharu vzrostla, ať už z vědeckých poznatků či informací týkajících se technologií výroby (Joseph & Lehmann, 2009). Lze tedy tvrdit, že téma biochar je obrovské a rychle se rozvíjející. Podle dostupných studií je právě biochar jedním z nástrojů a možností, jak přispět v řešení mnoha otázek týkajících se ekologické krize. Nicméně Verheijen et al. (2010) zdůrazňuje, že je třeba považovat biochar pouze jako jednu z možných strategií účinnou pouze v kombinaci s jinými. Z hlediska zmírnění ekologických dopadů je nutné aplikovat strategie paralelně.

Na základě odborné literatury lze vyzdvihnout celou řadu příznivých vlastností pro naše životní prostředí, a proto by biochar neměl být opomíjen, ale naopak by si zasloužil ještě více pozornosti. Zvyšování zemědělského výnosu, obnova půdy či sekvestrace uhlíku jsou jen příklady benefičních vlastností, kvůli kterým našel své

široké uplatnění nejen v zemědělství, ale i v průmyslu (Blackwell et al., 2009). Kompletní výčet všech možných využití je popsán v kapitolách níže.

Tato diplomová práce s názvem „Biochar jakožto nástroj ochrany vody a půdy“ shrnuje obecné poznatky ohledně biocharu a poukazuje na jeho příznivé dopady na naše životní prostředí, zejména v oblasti půdy a vody. Z toho vyplývá, že cílem předkládané diplomové práce je popis polních testů a zjištění, jaké účinky v nich mělo použití biocharu.

## 2 Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je popis výsledků provedených polních testů zaměřených na aplikaci směsi biocharu s močůvkou na zemědělskou půdu. To znamená určit, jaká forma biocharu je nejvhodnější. Vyvozené výsledky a závěry jsou následně porovnány s již publikovanými daty ostatních pracovišť.

Vedlejší cíle práce jsou následující:

- a) Seznámení čtenáře se základními terminologickými pojmy týkající se biocharu, jeho vlastnostmi, výrobou a použitím.
- b) Zjistit, zda může biochar fungovat jako nástroj ochrany vody a půdy.

### 3 Metodika

Teoretická část je zpracovaná formou literární rešerše a analýzy odborných textů. Praktická část popisuje polní testy, jejichž cílem je zjistit, v jaké formě zapravit biochar do půdy, tak aby z něj co nejvíce profitovala. Výsledky testů jsou zpracovány tabulární formou.

Při vypracování diplomové práce bylo postupováno tímto způsobem:

1. prostudování a následné zpracování odborné literatury
2. analýza a popis provedených polních testů
3. kompletace výsledků

# Teoretická část

## 4 Biochar

Tato kapitola se věnuje biocharu, přesněji řečeno jeho terminologickému vymezení. Dále historii a vlastnostem, které budou čtenáři představeny i z hlediska fyzikálního, chemického a biologického. Následuje využití v praxi a výrobní proces, spolu se surovinami, které jsou potřebné pro výrobu biocharu. Poslední podkapitola se zabývá finanční náročností biocharu a krátkým shrnutím.

Biochar je jemnozrný porézní materiál podobný dřevěnému uhlí. Vzniká karbonizováním biomasy, která je bohatá na organické složky jako například kaly z odpadních vod, dřevo, rostlinné odpady a další (Lehmann et al., 2009). Biochar slouží k vylepšování půdních vlastností, jelikož působí jako katalyzátor. Svoji přítomností navyšuje retenci vody v půdě a obohacuje ji o živiny. Zlepšuje úrodnost půdy, mimo jiné i snižováním uvolňování CO<sub>2</sub> při procesech oxidace (Lehmann et al., 2009; Hunt et al., 2010). Biochar mění fyzikální vlastnosti půdy, kdy vzhledem k jeho porézní struktuře dochází k provzdušňování půdy. Na povrchu biocharu dochází k chemické vazbě prvků, následnému uvolňování a rozpuštění v půdních vodách. Účinně váže fosfor, dusík, draslík a další živiny, čímž nedochází k jejich vyplavování. Další vlastností je retenční schopnost a odstraňování CO<sub>2</sub> z atmosféry (Spokas et al., 2012).

### 4.1 Terminologické vymezení biocharu

Z důvodu pochopení problematiky biocharu je níže uvedeno několik možných terminologických vymezení pojmu biocharu. Čerpáno je z různých zdrojů a oblastí:

#### **Terminologické vymezení dle mezinárodní iniciativy pro biochar (International Biochar Initiative, IBI)**

Biochar je definován jako pevný materiál získaný termochemickou přeměnou organického materiálu (biomasy) v prostředí s omezeným přístupem kyslíku (O<sub>2</sub>) za relativně nízké teploty (<700 °C). Od uhlí, které je používáno jako palivo, se odlišuje především v použití, neboť biochar se primárně používá jako doplněk půdy s cílem zlepšit její funkce.



Jinými slovy se jedná o postup, který využívá a přeměňuje zemědělský odpad na tzv. pomocnou půdní látku, která dokáže zadržet uhlík, podpořit bezpečnost potravin, zvýšit biologickou rozmanitost půdy a zabránit odlesňování. Tento proces vytváří vysoce porézní uhlí pomáhající v půdě udržet živiny a vodu. Lze říci, že se objevuje po celém světě. Vyskytuje se zejména z vegetačních požárů. Je pro nás přínosný, jelikož zlepšuje kvalitu a množství vody, zejména zadržuje živiny v půdě a má schopnost zadržovat agrochemikálie pro flóru. Tudíž živiny zůstávají v půdě, kde zvyšují její úrodnost, místo toho, aby se vyplavovaly do podzemních vod a znečišťovaly je (International Biochar Initiative, 2018).

### **Terminologické vymezení dle Terra Humana Clean Technology Development, Engineering and Manufacturing Ltd. (Edward Someus)**

Dle organizace Terra Humana Ltd. (2014) může být biochar definován jako specifický karbonizovaný produkt vyrobený pyrolyzním procesem, který je primárně určen pro zemědělské aplikace. Podle zmíněné organizace existují dva základní registrované typy biocharu, jmenovitě biochar vyrobený z rostlinných zbytků (Plant based biochar) a biochar vyrobený z vedlejších živočišných zbytků – kostí (Animal bone biochar).

### **Terminologické vymezení dle ekologického institutu Veronica**

Podle ekologického institutu Veronica se jedná o zuhelnatěnou biomasu, která se přidává do půd. Je drobnozrnná a konečný výsledek není používán jako palivo, na rozdíl od dřevěného uhlí. Biochar obsahuje živiny, a to fosfor a alkálie, které jsou takřka souhlasné jako prvotní biomasa, vyjma sníženého obsahu dusíku. Institut rovněž uvádí, že se z biocharu zmiňované živiny uvolňují velmi pomalu, jako například fotosynteticky absorbovaný uhlík, který v půdě zůstane v průběhu tisíciletí (Ekologický institut Veronica, 2017).

### **Terminologické vymezení dle Jana Káni**

Biochar je materiál vytvářený z rostlin stabilizující uhlík, jenž rostliny odebraly z atmosféry. Jedná se o zuhelnatělý organický materiál, který se používá k ekologickým účelům a aplikuje se do půd. Jde o rozklad biomasy, která je produkována tepelným rozkladem organického materiálu v omezeném množství

kyslíku. Je zřejmé, že nám biochar zkvalitňuje půdu, a ta poté funguje jako uložisko uhlíku. Lze tvrdit, že se jedná o produkt, který by mohl být podstatou pro trvale udržitelnou budoucnost (Biouhel s.r.o, 2017).

**Obrázek 1** Biochar (Deep Roots Project, 2017).



## 4.2 Historie biocharu

Metoda obohacování půdy uhlíkem, kdy obyvatelé Amazonie svou půdu tímto způsobem dokázali zúrodnit, sahá do historie staré přibližně dva tisíce let. Přeměnu neúrodné pralesní půdy v úrodnou černozem nazývali Terra Preta. Údajně vznikl biochar v ohništích domorodců, kteří spalovali velké množství dřeva. Toto spalování produkovalo odpadní materiály, jako byly popel a dřevěné uhlí. To používali domorodci, aby předcházeli onemocněním. V praxi to probíhalo tak, že se uhlí přidalo do výkalů a jiných odpadů v osadách. Takto obohacený materiál byl součástí hnojiva do polí. Zásadou tohoto procesu se půda obohatila o živiny, a tím se stala úrodnější. Důležité je si uvědomit, že Terra Preta byla tvořena mnoho let kvůli sekundárnímu použití biocharu po recyklaci organických zbytků. Je tedy zřejmé, že dostat biochar do půdy je proces na několik staletí, tak jak tomu bylo v případě půdy u domorodců (Schmidt, 2010).

Příklady půdy Terra Preta nejsou jediné, kdy se do půdy zapracovával biochar. Další zmínky o jeho používání jsou z 19. století z oblasti Evropy a Severní Ameriky. Využití biocharu bylo široké. Využíval se pro zkvalitnění půdy, zvyšoval odolnost

půdy, chránil ji proti suchu, nemocem či ztrátě živin a podobně. V tomto období se o biochar zajímal i Justus von Liebig, který doporučoval jeho kombinaci s průmyslovými hnojivy a poukazoval i na hojivé účinky u rostlin (Klusák, 2014).

**Obrázek 2** Neúrodná půda v porovnání s Terra Preta (International Biochar Initiative, 2018).



Komentář k obrázku č. 2: Vlevo je půda zbavená živin, oproti tomu vpravo se jedná o velmi tmavou a úrodnou půdu. Na pravém části obrázku je zachycena Terra Preta, která byla nalezena v Amazonii.

### 4.3 Vlastnosti biocharu

Studie ukazují, že klíčovým faktorem určující chemické a fyzikální vlastnosti je v případě biocharu výrobní proces, odborně nazývaný pyrolýza a vstupní materiály (Joseph & Lehmann, 2009; Mukome et al, 2013; Ahmadvan, 2018).

Zde jsou uvedeny výčty stěžejních vlastností biocharu. Nejprve je biochar popsán z hlediska fyzikálních vlastností, poté následují chemické a biologické.

#### 4.3.1 Fyzikální vlastnosti biocharu

Fyzikální vlastnosti biocharu mohou přímo či nepřímo souviset se způsobem jakým biochar ovlivňuje půdní systém. Pokud je v půdě přítomen biochar, může jeho

fyzikální povaha, jako například struktura, pórovitost, konzistence, velikosti pórů, velikost částic a hustota ovlivnit růst rostlin, neboť pronikání vody, vzduchu a živin do značné míry ovlivňuje půdní horizont (Downie et al., 2009).

Opět je zde potvrzen fakt, zmíněný v úvodu této kapitoly, tj. stěžejním faktorem určující vlastnosti biocharu je jednak výrobní proces, ale také vstupní materiál (Joseph & Lehmann, 2009; Mukome et al, 2013; Ahmadvan, 2018). Níže jsou uvedeny fyzikální vlastnosti:

### **Povrchová plocha biocharu**

Povrchová plocha je velmi důležitá charakteristika, protože ovlivňuje všechny základní jevy v půdě, od úrodnosti, mikrobiální aktivity až po koloběh vody, vzduchu a živin v půdě (Downie et al., 2009).

Písčité půdy mají omezenou kapacitu pro retenci vody a živin, právě kvůli malé povrchové ploše půdních částic. Například hrubé písky mají velmi nízkou specifickou povrchovou plochu, přibližně  $0,01 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  a jemné písky asi  $0,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Oproti tomu jílovité půdy mají poměrně vysokou specifickou povrchovou plochu, pohybující se v rozmezí od  $5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  v případě kaolinitu, až do  $750 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  pro montmorillonite. Půdy obsahující více jílu mají vysokou kapacitu retence vody, ale zároveň nedostatečné provzdušňování. Bylo vědecky prokázáno, že vysoký obsah organických látek překonává problém příliš velkého množství vody zadržované v jílovité půdě, a dokonce také zvyšuje obsah vody v písčité půdě. Specifický povrch pro biochar je obecně vyšší než v případě písku, ale také srovnatelný, nebo vyšší než u jílu (Troeh et al, 2005). Biochar mění fyzikální povahu půdy. Přidáním biocharu do půdy se zvyšuje celkový specifický povrch půdy (Downie et al., 2009).

### **Pórovitost**

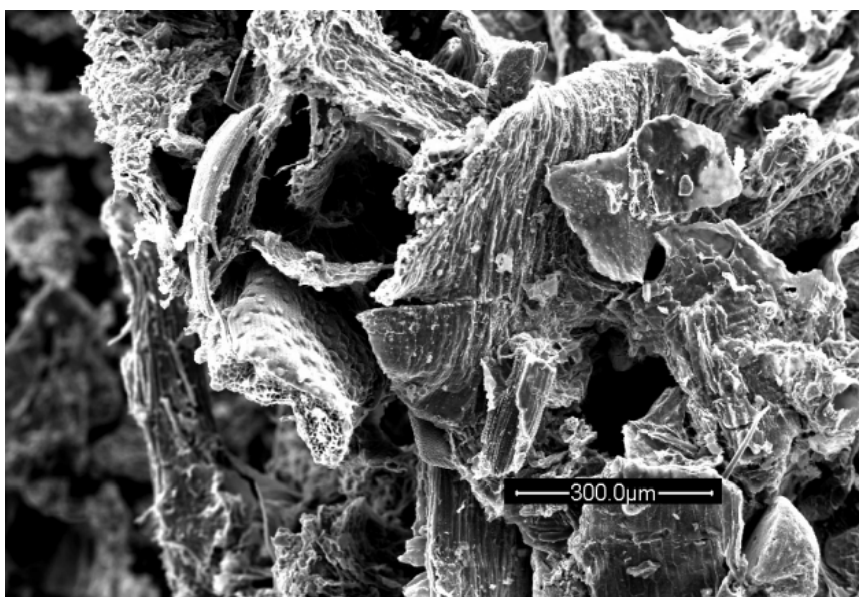
Pórovitost je základní fyzikální vlastností biocharu. Dle velikosti lze póry rozdělit na dvě skupiny, a to na mikropóry a makropóry. Mikropóry ( $>2\text{nm}$  v průměru) jsou zodpovědné za vysokou adsorpční kapacitu pro molekuly malých rozměrů, například plynů. Makropóry ( $>50\text{nm}$  v průměru) jsou důležité z hlediska funkcí půdy, například hydrologie a aerace půdy. Stejně tak jsou důležité pro pohyb kořenů půdou

i pro širokou škálu půdních mikroorganismů. Přestože povrchové plochy mikropórů jsou výrazně větší než povrchové plochy makropórů, objemy makropórů mohou být větší než objemy mikropórů, viz tabulka 1 (Downie et al., 2009). Velikost póru je zásadním faktorem při absorpčních vlastnostech (Heliová, 2016).

**Tabulka 1** Specifická povrchová plocha a objem pórů biocharu (Lane et al., 1991).

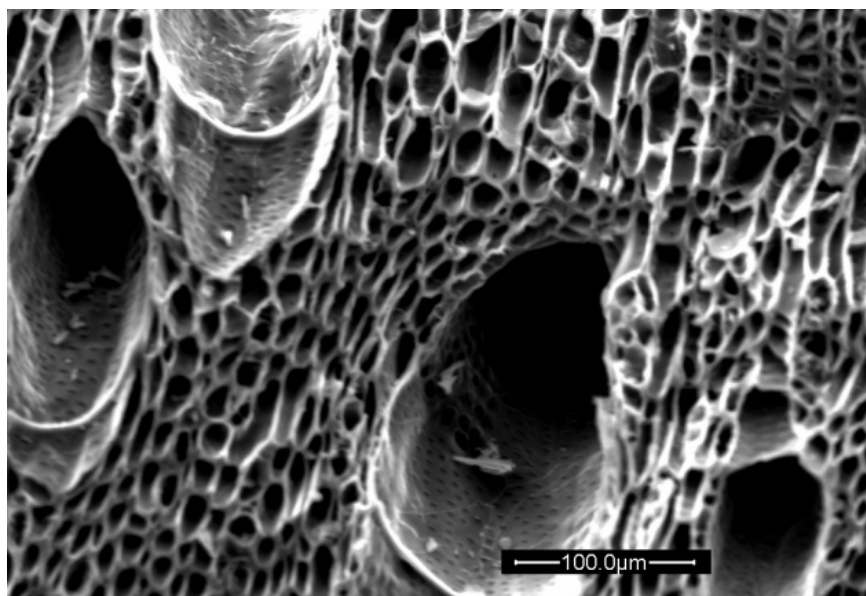
<b>Specifická povrchová plocha a objem pórů biocharu</b>		
	Specifická povrchová plocha (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Objem (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )
Mikropóry	750 - 1 360	0,2 - 0,5
Makropóry	51 - 138	0,6 - 1,0

**Obrázek 3** Mikroskopická pórovitost biocharu (Lehmann et al., 2009).



Komentář k obrázku č. 3: Mikroskopická porézní struktura biocharu. Na obrázku je vyobrazena makropórovitost biocharu, kde vstupním materiálem byl drůbeží hnůj, vyrobený pomalou pyrolýzou.

**Obrázek 4** Mikroskopická pórovitost biocharu (Lehmann et al., 2009).



Komentář k obrázku č. 4: Jedná se o snímek z elektronového mikroskopu, kde je detailně vyobrazena makropórovitost biocharu. Vstupním materiálem byly dřevní zbytky zpracované pomalou pyrolýzou.

### **Velikost částic**

Velikost částic biocharu je zpravidla menší, než je tomu u vstupního materiálu – organické hmoty. To je zapříčiněno ztrátami při pyrolýze. Výsledný biochar je více sypký a drobný. V některých případech se však částice mohou hromadit, a proto mohou také existovat případy zvýšené velikosti částic biocharu (Downie et al., 2009). U pomalé pyrolýzy lze využít hrubozrnný vstupní materiál, který produkuje biochar s částicemi větších velikostí (přibližně v rozmezí 9 - 25  $\mu\text{m}$ ). Oproti tomu u rychlé pyrolýzy lze využít jemnozrnný vstupní materiál, který produkuje biochar s menšími částicemi (tzv. jemnozrnný biochar) o velikosti kolem 12  $\mu\text{m}$  (Verheijen et al., 2010).

### **Hustota biocharu**

I v případě této fyzikální veličiny platí tvrzení, že finální hodnota závisí na povaze výchozího materiálu a procesu výroby (Downie et al., 2009). Biochar má nižší hustotu oproti minerálním půdám, tudíž je možné jeho použitím snížit celkovou objemovou hmotnost půdy (Verheijen et al., 2010). Existují dva základní typy hustot: the solid density (český překlad: hustota pevné fáze) a the bulk/apparent density (český

překlad: objemová hmotnost). Hustota pevné fáze se pojí k uhlíkaté struktuře na molekulární úrovni. Spíše se ale využívá objemová hmotnost, která je charakterizována jako poměr hmotnosti biocharu, a to včetně pórů k celkovému objemu, také včetně pórů (Downie et al., 2009).

Obecně lze tvrdit, že objemová hmotnost minerálních půd se pohybuje kolem  $0,8 - 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$ , v případě organických půd většinou kolem  $0,2 - 0,3 \text{ g.cm}^{-3}$ . Pro porovnání objemové hmotnosti půd dle druhu sumarizuje tabulka č. 2. Uvedené hodnoty jsou pouze orientační, závisí na aktuálních podmínkách, například četnost a velikosti pórů či množství vody (Pokorný et al., 2007). Hustota biocharu se dle literatury velmi liší, stejně tak jako u jiných fyzikálních vlastností, opět závisí na vstupním materiálu a pyrolýze. Průměrné hodnoty se pohybují kolem  $0,4 \text{ g.cm}^{-3} - 0,5 \text{ g.cm}^{-3}$  (Verheijen et al., 2010; Mahdi et al., 2015). Objemové hmotnosti biocharu v závislosti na výrobní teplotě zobrazuje tabulka č. 3.

**Tabulka 2** Objemové hmotnosti půd dle druhu (Lhotský, 2000).

<b>Objemové hmotnosti půd dle druhu po vysoušení</b>	
<b>Půdní druh</b>	<b><math>\text{g.cm}^{-3}</math></b>
P	>1,70
HP	>1,60
PH	>1,55
H	>1,45
JH	>1,40
J	>1,35

Komentář k tabulce č. 2: P – písčité půda, HP – hlinitopísčité půda, PH – písčitohlinitá půda, H – hlinitá půda, JH – jílovitohlinitá půda, J – jílovitá půda.

**Tabulka 3** Objemové hmotnosti biocharu, vyrobeného ze semen datlovníku pravého (*Phoenix dactylifera* L.) při rozdílných výrobních teplotách (Mahdi et al., 2015).

<b>Teplota výroby</b>	<b>Objemová hmotnost biocharu (<math>\text{g.L}^{-1}</math>)</b>
Biochar vyrobený při $350 \text{ }^\circ\text{C}$	0,51
Biochar vyrobený při $450 \text{ }^\circ\text{C}$	0,5
Biochar vyrobený při $550 \text{ }^\circ\text{C}$	0,49
Biochar vyrobený při $650 \text{ }^\circ\text{C}$	0,475

## **Kationtová výměnná kapacita**

Kationtová výměnná kapacita (dále jen KVK) je primárním mechanismem vázání anorganických kontaminantů. Biochar se vyznačuje vysokou KVK, vzhledem k jeho povrchovému zápornému náboji, z toho vyplývá vysoká schopnost slučování se s půdními kationty, včetně většiny těžkých kovů. Při aplikaci biocharu do půdy je KVK této směsi závislá na náboji a době výroby biocharu spolu s jeho povrchovými funkčními vlastnostmi (Heliová, 2016). Dle Kotzurová (2019) přítomnost biocharu dokáže zvýšit KVK až o 40 %, což pomáhá k zadržování kationtů potřebných při výživě rostlin. Krištůfek et al. (2013) podpořil toto tvrzení ohledně růstu KVK za přítomnosti biocharu. Studie prokazuje navýšení KVK z hodnoty 163 mmolche.kg<sup>-1</sup> (půda bez biocharu) na 182 mmolche.kg<sup>-1</sup> (půda po aplikaci biocharu, 2 kg/m<sup>2</sup>), v přepočtu tedy o 11,6 %.

### **4.3.2 Chemické vlastnosti biocharu**

Biochar je vyroben z řady surovin biologického původu, které byly tepelně degradovány za různých podmínek. Na základě tohoto faktu lze predikovat vysokou chemickou heterogenitu složení každého výsledného produktu. Každý biochar vyrobený v rámci konkrétní kombinace suroviny a procesu představuje jedinečnou směs fází a mikroprostředí, která dává specifickou sadu chemických vlastností (Krull et al., 2009).

#### **Chemické složení**

Složení biocharu lze rozdělit na organické a anorganické. Organická, čili uhlíková, část obsahuje kyslík, vodík a prvky vázané na atom uhlíku. Organickou složku ovlivňují reakční podmínky, jako jsou teplota, rychlost zahřívání, reakční čas a další. Anorganickou složku ovlivňují vlastnosti vstupních surovin (Brewer, 2012).

Biochar obsahuje především biogenní prvky, a to uhlík, kyslík, vodík, dusík a síru, ale i jiné prvky v závislosti na vstupním materiálu. Dle Tan et al. (2017) je obsah biocharu obecně menší než 3 hmot. % dusíku. Obsah vodíku je mírně vyšší než obsah dusíku, obsah kyslíku dosahuje maximálního obsahu 52,37 %. Obsah síry je nižší než



1 %. Zbývající částí je popel, který obsahuje především sodík, vápník, hořčík, draslík a další minerální prvky.

Následující tabulky zpřehledňují chemické složení biocharu. Tabulka č. 4 udává procentuální podíl obsažených složek biocharu, oproti tomu tabulka č. 5 znázorňuje chemickou kompozici prvků.

**Tabulka 4** Relativní poměr čtyř hlavních složek biocharu (Verheijen et al., 2010).

Obsažená složka	Obsah (w%)
Pevný uhlík	50-90
Těkavé látky (např. dehty)	0-40
Vlhkost	1-15
Popel (minerální látky)	0,5-5

**Tabulka 5** Zvolené prvky v odlišných typech biocharu, připravené při 500 °C (Stupavský, 2008; Tan et al., 2017).

Vstupní biomasa	C	H	N	S	Ca	Mg
	g.kg <sup>-1</sup>					
Drůbeží trus	392	-	31	14	50	13
Arašídové slupky	804	-	25	0,6	5	3
Štěpka borovice	817	-	2,2	0,1	1,9	0,6
Rýžové stéblo	449	19,82	8,4	8,67	-	-
Organický odpad	414	17,2	29,2	4,1	-	-
Bambus	832	22,8	22,8	0,5	-	-
Větve vrby	375	22	5	1,6	-	-

## pH

Dle Chan & Xu (2009) jsou hodnoty pH biocharu převážně neutrální až slabě alkalické (zásadité), konkrétně v rozpětí pH 6,2 - 9,6 pH. Průměrná hodnota se pohybuje tedy kolem pH 8,1 v případě biocharu z různých druhů biomasy. Toto tvrzení je podpořeno Tan et al. (2017), který uvádí pH hodnoty biocharu vždy větší než 7, což vypovídá o zásaditosti biocharu. Stoupající pH s nárůstem teploty je dáno snížením počtu organických funkčních skupin obsažených v biomase.

### 4.3.3 Biologické vlastnosti biocharu

Nedávný výzkum potvrdil, že biochar stimuluje aktivitu různých zemědělsky důležitých mikroorganismů, a tím dokáže výrazně ovlivnit mikrobiologické vlastnosti půdy. Biochar je znám jako místo výskytu půdních mikroorganismů. Porézní struktura biocharu a schopnost absorbovat rozpustné organické látky, plyny a anorganické živiny, poskytují vhodné prostředí pro kolonizaci, růst a reprodukci mikroorganismů, např. bakterií a mikroskopických hub. Vysoká pórovitost taktéž umožňuje biocharu držet více vlhkosti než minerální půdy (Thies & Rillig, 2009).

Biochar tvoří vynikající mikrobiální habitat (Lehmann et al., 2011). Toto tvrzení potvrzují nedávné studie, které se zabývaly biocharem v kombinaci s bakteriálními populacemi *Enterobacter cloacae* (Hale et al., 2015) a *Azospirillum lipoferum* (Saranya et al., 2011).

### 4.4 Využití

Biochar se využívá nejen v zemědělství, ale i v mnoha jiných odvětvích. Je zapotřebí nejprve biochar použít jinak, např. využitím v textilním průmyslu (funkční oblečení), stavebnictví (izolace), energetický průmysl (baterie), zemědělství (doplnkové krmivo a silážní prostředky). Dalším jeho použitím může být např. filtr v čistírnách odpadních vod, až poté může být vpravován do půdy (Schmidt, 2010).

**Tabulka 6** Výčet teoretických možností využití biocharu (Schmidt, 2010).

Odvětví	Příklady
Chov zvířat	Krmivo, doplněk krmiva, součást podestýlky
Půdní výživa	Hnojivo z uhlí, kompost, substitute rašeliny
Stavebnictví	Vyčištění vzduchu a zemních základů, izolace, úprava regulace vzduchu
Dekontaminace	Půdní přípravek pro čištění půd, půdní hnojiva, zaopatření rybníků
Čištění odpadní vody	Předproplachová složka, aktivní uhlíkové filtry, kompostovací toalety
Čištění pitné vody	Mikrofiltry, Makrofiltry v zemích třetího světa

<b>Odvětví</b>	<b>Příklady</b>
Průmyslová surovina	Uhlíková vlákna, plasty
Kosmetika	Mýdla, krémy na pleť
Elektronika	Polovodiče, baterie
Barvy	Potravinová a průmyslová barviva
Zdravotnictví	Detoxikace
Textil	Složka ve funkčním oblečení, deodorant pro vložky do bot
Rekreační centra	Vycpávka matrací a polštářů
Ochrana před elektromagnetickou radiací	Mikrovlnné trouby, televize, počítače, zásuvky

### **Zajímavosti využití**

- Největší využití biocharu směřuje do chovu zvířat, kde je efekt viditelný již za několik málo dní,
- vysoká adsorpce vody a nízká tepelná vodivost biocharu jsou vlastnosti, kvůli kterým je využíván ve stavebnictví jako izolace,
- biochar pohlcuje pot, zápach a odstraňuje záporné ionty z pokožky, tudíž je vhodné ho používat v již zmiňovaných rekreačních centrech,
- pokud se přidá do matrací, slouží jako prevence při poruchách nespavosti,
- též slouží k odstranění uhlíku z CO<sub>2</sub> (Schmidt, 2010).

### **4.5 Použití**

Dle poznatků Blackwell et al. (2009) se účinnost biocharu v kombinaci s hnojivy, hnojem či kompostem významně liší. Odlišné účinky lze také pozorovat při způsobu aplikace, ať už se jedná o přímé zapravení do půdy, či na její povrch. Faktem je, že zemědělský výnos se při použití biocharu zvyšuje. Nicméně to, za jakých okolností (půdní podmínky, klimatické podmínky, u jakého druhu zemědělské plodiny atp.) je výnos vyšší nebo naopak nižší, je stále otázkou. Proměnných je tedy celá řada, včetně druhu/typu biocharu, a proto je velmi obtížné predikovat zemědělské výnosy v souvislosti s aplikací biocharu.

Vzhledem k tomu, že je biochar stálý, zdržuje se v půdě delší dobu oproti ostatním formám půdního uhlíku z biomasy. Je tedy dobré používat ho bezprostředně promíchaný s půdou a do ní ho přidávat postupně během několika let, a to 1-2 kg na m<sup>2</sup>. Doporučuje se kombinovat aplikaci biocharu do půdy s vhodnou zemědělskou praxí, která navyšuje obsah organické hmoty v půdě. Vhodnou zemědělskou praxí se rozumí zejména použití kompostu, zeleného hnojení, náležitého osevního postupu, či mulčování (Klusák, 2014).

Biochar lze přidávat do hnoje, kompostu i půd s nadbytkem živin. Používá se pro zefektivnění kompostování (urychluje jeho proces) a vylepšuje finální výsledek. Pro 20 cm vrstvu kompostu se používá 0,5 cm biocharu (srovnání chemických vlastností biocharu s kompostem je uvedeno v tabulce č. 7). Pokud se použije biochar v kombinaci s hnojem, sníží se zápach a redukuje se podíl dusíku (Blackwell et al., 2009; Klusák, 2014). Takto smíchaný biochar s hnojem či kompostem může být do půdy přímo zapraven, nebo rovnoměrně smíchán s vrchní částí půdy. Zapravení této směsi do půdy probíhá do předem připravených jamek nebo brázd, vytvořených manuálně či technikou. Po zapravení dochází k zahrnutí jamek/brázd, a tím i ke srovnání terénu. Biochar se nachází přímo u kořenových systémů zemědělských plodin, v prostoru zvaném rhizosféra. Výhodou takto zapracované směsi biocharu je snížení možnosti větrné a vodní eroze. Snazší způsob je již zmíněná aplikace přímo na půdní povrch. Směs biocharu lze aplikovat manuálně, ale i mechanicky (rozmetadla). V tomto případě samozřejmě narůstá riziko eroze, vodní i větrné, a proto je vhodné aplikovaný biochar promíchat s vrchní částí půdy pomocí diskových pluhů (Blackwell et al., 2009).

**Tabulka 7** Srovnání chemických vlastností biocharu s kompostem (Mensah & Frimpong, 2018).

<b>Srovnání chemických vlastností biocharu s kompostem</b>		
<b>Prvek</b>	<b>Biochar</b>	<b>Kompost</b>
P (mg·kg <sup>-1</sup> )	88,2	353,7
Celkový organický C (%)	70,1	23,6
pH (H <sub>2</sub> O)	7	5,3
Mg <sup>2+</sup> (cmol·kg <sup>-1</sup> )	12	22,7
Ca <sup>2+</sup> (cmol·kg <sup>-1</sup> )	44,3	162,7
K <sup>+</sup> (cmol·kg <sup>-1</sup> )	39,4	10,8
Na <sup>+</sup> (cmol·kg <sup>-1</sup> )	32,6	9,7
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol·kg <sup>-1</sup> )	11,3	12,7
Celkový podíl N (%)	0,9	4,2

Pokud se používá biochar v zemědělství je jeho správná kvalita specifikována směrnici IBI Biochar Standards (2015). IBI čili Mezinárodní iniciativa je organizace, která je nezisková. Má za úkol napomáhat s rozvojem biocharu a podávat o něm důvěryhodné informace veřejnosti. Organizace se stará zejména o to, aby byl vyráběn kvalitní biochar. Byla vytvořena studie, která se snaží o zajištění standardizace a náležitě certifikace biocharu.

Organizace vznikla v roce 2009 a poskytuje určitá kritéria, která by měli výrobci při výrobě biocharu dodržovat. Tudíž biochar vyrobený za těchto podmínek splňuje vysoké standardy. Ty zahrnují limitní hodnoty pro biochar. Pokud biochar splňuje zkušební požadavky, které jsou dané ze strany IBI Biochar Standards, tak dostane certifikační schválení. Jedná se o certifikaci kvality biocharu, nikoliv o certifikaci ve smyslu povolení použití (v ČR povolení uděluje ÚKZUZ).

#### **4.6 Výroba**

Obecně lze říci, že existuje více způsobů výroby biocharu. Nicméně samotný proces výroby vykazuje společné znaky u všech typů, tj. zahřívání biomasy (organického materiálu) bez přístupu kyslíku, popřípadě s nepatrným množstvím kyslíku. Pokud se dodrží tato technologie, vytlačí se těkavé plyny a zůstane uhlík. Zmiňovanou metodu nazýváme tepelným rozkladem, obvykle z pyrolýzy nebo

zplyňování. Tyto metody mohou vytvořit společně s biocharem čistou energii ve formě plynu nebo oleje. Lze říci, že se jedná o obnovitelnou energii, která buď najde své jiné využití, nebo se jednoduše spálí a uvolní ve formě tepla. Jedná se o technologii, o které je možno tvrdit, že jako jedna z mála není tolik nákladná a je široce uplatnitelná (International Biochar Initiative, 2018). Výrobní proces biocharu (pyrolýza) je rozpracován a popsán do detailu níže, společně s ostatními metodami jako je torefakce, karbonizace či zplyňování.

#### 4.6.1 Pyrolýza

Pyrolýzu lze označit za fyzikálně-chemický děj, který primárně rozkládá paliva na jednodušší sloučeniny, a to bez přístupu vzduchu nebo jiného oxidovadla. Za vysokých teplot (300 °C a více) se část paliva (často označována jako „prchavá hořlavina“) přetvoří na plyn a uvolní se do reaktoru. Z toho zůstane pouze pevná část, která je složená z uhlíku a popelovin. Komponenty, které jsou uvolněny z pyrolýzního plynu mohou následně reagovat mezi sebou, jestliže mají dostatek času. Pokud dojde ke zchlazení, zkondenzují se z plynu těžší organické látky a vytvoří se pyrolýzní kapalina. Vstupní materiál je rozložen na tři komponenty, tj. pyrolýzní plyn, pyrolýzní kapaliny a pevný zbytek – biochar. Poměr těchto výsledných produktů je ovlivněn samotnou koncepcí technologie pyrolýzy (Stupavský, 2008).

Proces pyrolýzy obvykle probíhá ve dvou fázích, přičemž v primární fázi dochází k dehydrataci, dehydrogenaci, a dekarboxylaci, zatímco v sekundární fázi nastává tepelný rozklad sloučenin s vysokou molekulovou hmotností, což vede ke vzniku uhlí a plynným produktům, jako jsou např. CH<sub>4</sub>, CO a CO<sub>2</sub> (Yadav & Jagadevan, 2019).

Existují dva základní typy pyrolýzy: rychlá a pomalá. Rychlá pyrolýza se vyznačuje velmi rychlým nárůstem teploty, vysokou finální teplotou (až 1200 °C) a krátkou časovou dobou držení materiálu v reaktoru. Při tomto rychlém procesu vzniká vyšší podíl pyrolytického oleje (60 – 75 % hm., biocharu 15 – 25 % hm.; pyrolýzního plynu 10 – 20 % hm). Pomalá pyrolýza je naopak definována pozvolným nárůstem teploty a nižší finální teplotou, při níž vzniká 30 % hm. oleje, 30 % hm. plynu, a 35 % hm. biocharu (Stupavský, 2008). V literatuře je ovšem možné nalézt další typy pyrolýzy, které zřehledňuje tabulka č. 8.

**Tabulka 8** Typy pyrolýzy (Tan et al., 2017).

<b>Přehled typů pyrolýzy</b>		
<b>Typ pyrolýzy</b>	<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
rychlá pyrolýza	velmi krátký čas	vysoké požadavky na teplotu a vybavení, nízký výtěžek uhlíku
středně rychlá pyrolýza	mírné nároky na teplotu (relativně nízká spotřeba energie)	omezený výtěžek uhlíku
pomalá pyrolýza	velmi nízká spotřeba energie, nízká teplota, vysoký výtěžek uhlíku	delší čas

Výrobní proces je klíčovým faktorem určující vlastnosti výsledného produktu. Jednak vstupní suroviny, ale i výrobní teplota jsou stěžejní (Joseph & Lehmann, 2009; Mukome et al, 2013; Ahmadvan, 2018). Tabulka č. 9 společně s tabulkou č. 10 naznačují jakým způsobem ovlivňuje pyrolýzní teplota vybrané vlastnosti biocharu i jeho chemické složení. Komplexní tabulka č. 11 navíc přidává výsledný účinek i experiment, kterým jej bylo dosaženo.

**Tabulka 9** Vliv pyrolýzní teploty na vlastnosti výsledného produktu (El-Naggar et al., 2019).

<b>Vliv pyrolýzní teploty na vlastnosti výsledného produktu</b>			
<b>Vlastnost biocharu</b>	<b>Nízká teplota</b>		<b>Vysoká teplota</b>
Povrchová plocha	Nízká	→	Vysoká
Aromaticita	Nízká	→	Vysoká
Acidita	Vysoká	←	Nízká
Živiny	Vysoká	←	Nízká
Alifatické sloučeniny	Vysoká	←	Nízká
Hydrofobnost	Nízká	→	Vysoká
Sekvestrace uhlíku	Nízká	→	Vysoká

**Tabulka 10** Vliv výrobních teplot na základní složení biocharu z různých surovin (Shaaban et al., 2018).

Vstupní suroviny	Teplota pyrolýzy (°C)	C (g kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	C/N	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )
Pšeničná sláma	450	468	6	78	8	3
Arašídové skořápky	350	555	15	37	1	-
Pšeničná sláma	700–750	320	-	-	4	50
Dřevo z vrby ( <i>Salix alba</i> )	400	652	22	30	-	-
Dřevo z vrby ( <i>Salix alba</i> )	525	760	24	32	-	-
Pšeničná slupka	525	575	32	18	-	-
Směs dřeva - smrk norský ( <i>Picea abies</i> ) + buk evropský ( <i>Fagus sylvatica</i> )	550–600	744	5.6	133	2	6
Rýžová sláma	300	496	17	29	-	-
Rýžová sláma	500	584	14	42	-	-
Rýžová sláma	700	565	11	51	-	-
Kukuřičná sláma	400	503	17	30	-	-
Ořechová skořápka	900	517	-	-	-	-
Směs druhů jehličnanů + digestátu z řas	600–700	660	-	-	-	-
Akátové dřevo	550	893	4	223	23	11
Bambus	600	869	7	124	1	6
Rýžová sláma	550	427	8	53	2	1
Kukuřičná sláma	500	580	23	25	-	-
Dřevo z vrby	550	475	4	119	8	7
Seno	400	590	19	31	-	-
Seno	600	495	17	29	-	-
Pšeničná sláma	300	517	14	37	3	30
Pšeničná sláma	400	620	9	69	3	32
Pšeničná sláma	500	662	9	74	3	36
Rýžová sláma	300	452	12	38	1	36
Rýžová sláma	400	555	10	56	1	41



Vstupní suroviny	Teplota pyrolýzy (°C)	C (g kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	C/N	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )
Rýžová sláma	500	630	9	70	1	48

**Tabulka 11** Vliv aplikace biocharu na různé vlastnosti půdy (El-Naggar et al., 2019).

Biochar-vstupní surovina	Způsob výroby	Aplikační dávka	Povaha experimentu	Textura/typ půdy	Účinek
Arašídová slupka a kukuřičná sláma	Pomalá pyrolýza při 350–450 °C	0.45 t ha <sup>-1</sup>	Experiment v terénu	Antropogenní půda	-Snížení celkového dusíku (–0,80 až –15,71 %), dostupného dusíku (–14,1 až –6,46 %) a organického uhlíku v půdě (–13,29 na –2,74 %)
Pšeničná sláma	Pomalá pyrolýza při 350–550 °C	0, 20, 40 t ha <sup>-1</sup>	Experiment v terénu	Vápenitá půda	- Významné zvýšení organického uhlíku v půdě (až 30,9 %), dostupného P (až 25,37 %) a dostupného K (až 66,6 %), ale neovlivní významně celkový N a pH
Pšeničná sláma a kuřecí hnůj	Pomalá pyrolýza při 450 °C	5 t suchá hmotnost ha <sup>-1</sup>	Experiment v terénu (dlouhodobý)	Podzoly	- Na konci páté sezóny nebyl žádný významný vliv na úrodnost půdy ani na produktivitu rostlin
Byliny	Pomalá pyrolýza	10 t ha <sup>-1</sup>	Experiment v terénu	Písčité půda	- Nebyl žádný významný vliv

Biochar- vstupní surovina	Způsob výroby	Aplikační dávka	Povaha experimentu	Textura/typ půdy	Účinek
	při 400 °C a 600 °C		(jednotlivé pozemky 4 × 4 m)		aplikace biocharu na hydrologické vlastnosti půdy nebo stabilitu agregátů
Smíšené plodiny slámy	Pomalá pyrolýza při 500 °C	16 t ha <sup>-1</sup>	Experiment v terénu	Hlinitá půda	-Zvýšení zadržovací kapacity půdní vody (+19,14 až + 38,77 %), ale úbytek organického uhlíku z půdního profilu byl vyvolán zvýšením rozpuštěného organického uhlíku
Eukalyptové dřevo	Pomalá pyrolýza při 350 °C a 800 °C	0, 1, 2, a 4 % w/w	Experiment v květináči, 2 po sobě jdoucí rostliny kukuřice	Ultisoly, Oxisoly	-Výrazné snížení biomasy rostlin kukuřice v písčité půdě v případě výrobní teploty 800 °C v porovnání s kontrolním vzorkem (o 25 % biomasy méně). Tento negativní jev se ovšem neprojevil v jílovité půdě- Oxisoly.

Biochar- vstupní surovina	Způsob výroby	Aplikační dávka	Povaha experimentu	Textura/typ půdy	Účinek
Kaly z čistíren odpadních vod	Pomalá pyrolýza při 550 ° C po dobu 6 hodin	5 a 10 % (w/w)	Experiment v květináči	Kyselá půda	- Zvýšení pH půdy (+20,39 až + 34,07 %), celkového dusíku (+350 až + 550 %) a celkového uhlíku (+554,5 až + 818,2 %) - Snížení biologické dostupnosti Co (-23,4 až -30,3 %), As (-30,3 až -37,7 %), Pb (-47,4 až -65,0 %), Ni (-0,9 až -7,0 %) a Cr (-18,5) na - 26,1 %)
Rýžová sláma	Pomalá pyrolýza při 500 ° C po dobu 4 hodin v uzavřené nádobě	5 % (w/w)	Experiment v květináči	Kyselé půdy	-Zvýšení celkového uhlíku (+ až 192,9 %) - Mírný nárůst celkového dusíku (až 34,7 %), poměr C: N (+ až 132,67 %) - Snížení dostupných forem N (-21,02 až -68,85 %) - KVK nebyl ovlivněn
Pšeničná sláma, smíšené štěpky a prořezávání vinic	Pomalá pyrolýza při 525 ° C a 400 ° C	30 a 90 t ha <sup>-1</sup>	Experiment se skleníkovými nádobami Jeden rok byly	Písčítá půda, Jílovitá půda	-pH vzrostlo ve všech typech půd (+0,1 až +0,9), ale KVK se zvýšil pouze v písčitohlinité

Biochar- vstupní surovina	Způsob výroby	Aplikační dávka	Povaha experimentu	Textura/typ půdy	Účinek
			pěstovány tři plodiny (hořčice, ječmen a jetel červený)		půdě (+4 až 8,9 mmolckg <sup>-1</sup> ) Poměr- C:N se zvýšil při aplikační dávce 30tha <sup>-1</sup> (+ 2,3–3,7) - Výnos plodiny se ve většině případů snížil (až o 68 %)
Větve vrby	Pomalá pyrolýza při 470 ° C po dobu 15 minut	0.5 nebo 2 % w/w	Inkubační experiment	Jílovitá půda	-N mineralizace byla při obou aplikačních dávkách - pH zvýšené o 2 % aplikační dávku
Ozdobnice cukrová (A), sláma (B), Šeflera actinophylla (C)	Pomalá pyrolýza při 500– 600 ° C	30 t ha <sup>-1</sup>	Inkubační experiment	Písčité půda	-Písečná půda: kapacita výměny kationtů se zvýšila z 0,3 cmolkg <sup>-1</sup> v kontrolě na 0,7, 0,9 a 3,1 cmolkg <sup>-1</sup> v půdách ošetřených C, A a B, v tomto pořadí - Písečná hlína: C a A neovlivnily kapacitu výměny kationtů, ale B ji zvýšilo z 10,2 cmolkg <sup>-1</sup> v kontrolě na 11,5 cmolkg <sup>-1</sup> v půdě ošetřené B

Biochar- vstupní surovina	Způsob výroby	Aplikační dávka	Povaha experimentu	Textura/typ půdy	Účinek
Listy palmy datlové	Pomalá pyrolýza při 400 ° C po dobu 30 minut v muflové peci	0, 10, 50 a 100 g kg <sup>-1</sup>	Měření bylo provedeno okamžitě po smíchání biocharu s půdou, a to ve skleněných kádinkách	Písčítá půda	-Velký nárůst KVK (2,5 až 6,7 mek 100 g <sup>-1</sup> ) - Snížení hodnoty pH (-0,5) - Retence vody se výrazně zlepšila (až o 20 %)

### Co ovlivňuje výsledky procesu pyrolýzy?

Dle Biogreen (2018) existují čtyři hlavní faktory ovlivňující pyrolýzní proces. Zejména záleží na tom, z čeho je vstupní materiál složen. Velmi důležitá je u výroby teplota, dále závisí na času zdržení materiálu spolu s velikostí částic.

#### 1) Složení vstupního materiálu

Vzhledem k vysoké diverzitě vstupních materiálů je vždy doporučováno provést zkušební testy, které určí, jak provést výrobu (Biogreen, 2018).

#### 2) Teplota výroby

Biogreen (2018) uvádí, že pokud je teplota pyrolýzy vyšší, umožňuje vytvořit větší množství nekondenzovatelných plynů, jako je např. syntetický plyn. Naproti tomu nižší teploty napomáhají výrobě vysoce kvalitních pevných produktů a tím je uhlí a biouhlí.

#### 3) Doba zdržení materiálu v pyrolýzní komoře

Čas, po který je vstupní materiál držen v pyrolýzní komoře, ovlivňuje stupeň tepelné přeměny výsledného produktu (Biogreen, 2018).

#### **4) Velikost částic a fyzikální struktura**

Velikost částic ovlivňuje rychlost pyrolýzy, přesněji řečeno rychlost samostatného zahřívání. Dle Demirbas (2004) existuje nepřímá úměra mezi velikostí částic a rychlostí zahřívání. V případě menších velikostí částic je rychlost zahřívání vyšší, než jak by tomu bylo v případě větších velikostí částic. Tedy produkce pyrolýzního oleje je vyšší u zahřívání menších částic, kdežto u větších částic je v důsledku zahřívání více zbylého biocharu.

##### **4.6.2 Torefakce**

Torefakce je velmi podobný proces jako pyrolýza. Probíhá za podobných předpokladů mimo reakční teploty (v intervalu 200-300 °C), rozkládá se jen část biomasy. Zásadním rozdílem mezi torefakcí a pyrolýzou se stává nižší rychlost ohřevu při torefakci. Vzhledem k podobnosti podmínek obou procesů se lze setkat i s názvem mírná pyrolýza. Torefakce se odehrává v prostředí bez kyslíku a při nízké rychlosti ohřevu (Dhungana, 2011).

Procesem vzniká biochar s nižším poměrem kyslíku a uhlíku než vstupní biomasa. Výhodou výsledné biomasy je její nižší zápalná teplota a delší hořlavost. Lze ji déle skladovat díky hydrofobnosti a upravovat do briket nebo na peletky. Při torefekaci dochází ke snižování hmotnosti biomasy, přičemž energetická hodnota se zvyšuje (Mitchel & Elder, 2010).

##### **4.6.3 Karbonizace**

Karbonizace produkuje látky, které mohou být nepříznivé, až škodlivé. Tudíž je důležité, aby byla zajištěna vhodná opatření, a to z důvodu snížení rizik (FAO, 1983).

Karbonizace je proces, kterým jsou pevné zbytky se vzrůstajícím obsahem elementárního uhlíku formovány z organické hmoty pyrolýzou, a to v uzavřené atmosféře. Jedná se o komplikovaný proces, ve kterém probíhají reakce zároveň. Karbonizace závisí na konečné teplotě pyrolýzy, přesněji řečeno řídí její stupeň a zbytkový obsah cizích prvků (Marsh et al., 2006). Hlavním produktem karbonizace je koks (skoro čistý uhlík), který slouží jako surovina pro produkci železa (Fe). Kdysi byl koks důležitý i pro produkci karbidu vápenatého ( $\text{CaC}_2$ ). Dále uhelný dehet, jedná

se o hutnou kapalinu, která zapáchá. Dehet je vlastně složený ze stovek až tisíců organických sloučenin, ty jsou čerpány ze separačních metod, jako je třeba destilace. Jeho výroba značně klesla, kvůli petrochemickému průmyslu a je obsažen např. v cigaretovém kouři. Jako poslední hlavní produkt karbonizace je karbonizační plyn, ten se upravuje na svítíplyn, kdysi se využíval k vaření nebo ke svícení (E-chembook, 2018).

#### **4.6.4 Zplyňování**

O zplyňování v poslední době roste zájem, jelikož přispívá ke snížení emisí CO<sub>2</sub>, a to ve srovnání s fosilními palivy. Produkuje vysoce výhřevný plyn z obnovitelných zdrojů energie. Používá se k zabezpečení čistého plynného paliva, zejména pro spalování v pecích či ve spalovacích motorech, kde se vyrábí energie (Neubaur, 2013).

Dle České asociace pro pyrolýzu a zplyňování z.s. se dá říci, že zplyňování je obdobou pyrolýzy, ovšem u zplyňování je hlavním produktem výhřevný plyn. Musí být vyšší teplota, delší rekreační čas a je nutno, aby bylo dodrženo konkrétní množství, tzv. zplyňovací médium. Za zplyňovací médium v tomto případě považujeme vzduch, čistý kyslík s vodní párou nebo pouze vodní páru. Jestliže se aplikuje vzduch nebo kyslík, koná se při zplyňování nedokonalé spalování. Důsledkem toho je, že se v reaktoru tvoří teplo nutné k pyrolýzním a zplyňovacím procesům. Použitím vodní páry je produkován plyn s vysokým obsahem vodíku, ten musí být opatřen dostatečným přívodem tepla, které je dodávané z vnějšího zdroje (CPGA, 2018).

#### **4.6.5 Suroviny, které jsou potřebné pro výrobu biocharu**

Surovin, které jsou nutné pro výrobu biocharu, máme nespočet. Svůj původ mají z živé přírody, včetně zbytků ze zemědělského hospodaření, lesního hospodaření, chovů zvířat a biologického odpadu (Lehmann et al., 2009).

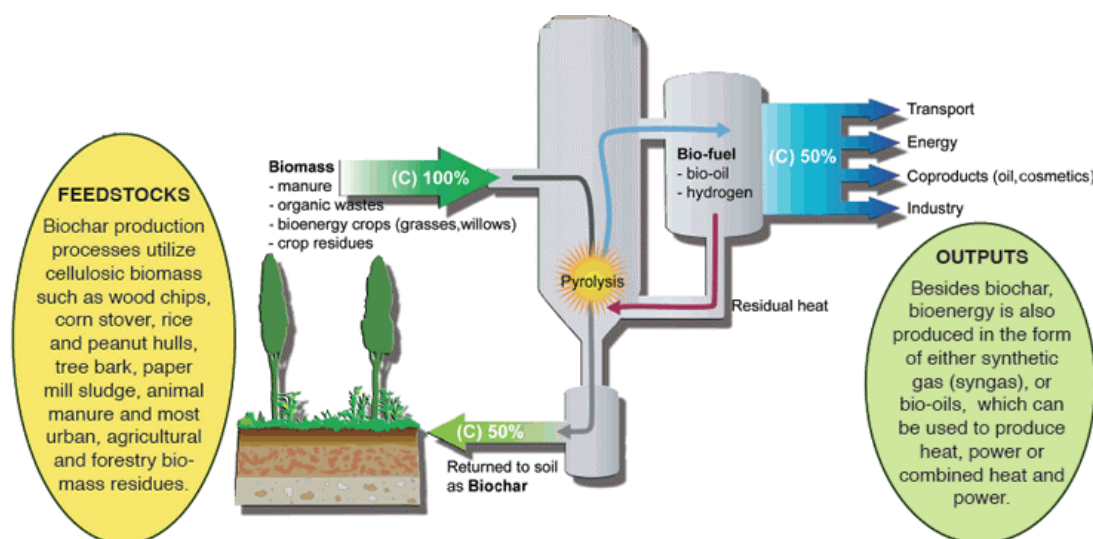
Výroba biocharu se dělí do dvou skupin. První skupina zahrnuje zejména přírodní složky biomasy, jako je celulóza, hemicelulóza a lignin. Vyjmenované složky jsou součástí zralých travin, některých stromů a řas. Pro druhou skupinu jsou typické odpady, např. z lesní produkce, reziduum z rostlin, hnůj a biologicky rozložitelný komunální odpad (Brick, 2010).

**Obrázek 5** Možné vstupní suroviny (International Biochar Initiative, 2018).



Komentář k obrázku č. 5: Spodní řada zobrazuje vzorky možných vstupních surovin pro výrobu biocharu. Výsledný produkt (biochar) je vyobrazen v řadě horní. Vstupní suroviny zleva: tvrdé dřevo, rýžové slupky, proso, cukrová třtina.

**Obrázek 6** Proces produkce biocharu od vstupních surovin, až po případné využití v praxi (Lehmann et al., 2009).



Komentář k obrázku č. 6: Zjednodušené, přesto kompletní schéma je zobrazeno na obrázku viz výše “Biochar production diagram courtesy of Johannes Lehmann“. Z obrázku vyplývá, že vstupním materiálem může být jakákoliv organická hmota, např. odpadní materiál z živočišné a rostlinné produkce (hnůj, nevyužité zbytky plodin, aj.).



#### 4.7 Ekotoxicita

Ekotoxicita je vlastnost látky, která udává míru toxické působnosti na přirozený vývoj přírodních složek (Heliová, 2016). Ekotoxikologické testy jsou především určeny k testování neškodnosti zkoumané látky. Typickým příkladem může být např. využívání odpadních vod pro závlahy zemědělských plodin či nový typ hnojiva. Pro provedení testu se často využívají semena rostliny *Sinapis alba* (syn. *Brassica alba*) patřící do čeledi *Brassicaceae*. Principem samotného testování je kultivace semen na speciálních podložkách obsahující zkoumanou látku. Výsledek je porovnán s kontrolním vzorkem provedeným obdobným postupem, nicméně obsahuje pouze vodu (Kočí et al., 2001). Ekotoxikologickým hodnocením biocharu se do současnosti zabývalo jen velmi omezené množství studií. U biocharu je ekotoxicita závislá na půdní reakci (pH), elektrické vodivosti, elementární struktuře, obsahu popela, přítomnosti iontů a organických nečistot. Ekotoxicita bude diskutována ke konci práce (Kotzurová, 2019).

#### 4.8 Finanční náročnost biocharu

Otázka finanční náročnosti není zcela jednoznačná. Biochar lze získat v určité kvalitě za určitou cenu, jeho výroba ve velkém měřítku prakticky neexistuje. Prodává se pod různými názvy, např. pod obchodními značkami Agrouhel či Prauhel. Dle zjištění se základní cena biocharu pohybuje okolo od 4,- Kč/l bez DPH. Cena se může ovšem lišit vzhledem k odebíranému množství. Některé firmy prodávají biochar, který je svým složením vhodný zejména pro zahradníky, zemědělce anebo pouze jako přísada do truhlíků. Dle průzkumu IBI, společnosti produkující biochar, byl zaznamenán prodej 911 tun biocharu v období jednoho roku. 65 % z celkového objemu, tzn. 597 tun bylo vyprodukováno v Severní Americe, kde průměrná cena se pohybuje okolo 13,- Kč/kg bez DPH (Farm Energy, 2019).

## 5 Vztah biocharu k životnímu prostředí

Tato kapitola pojednává především o ekologickém přínosu biocharu na naše životní prostředí. V úvodu kapitoly jsou zřehledněny všechny příznivé dopady aplikace biocharu do půdy. Následují podkapitoly zahrnující stěžejní problematiku biocharu ve vztahu k půdě a vodě, což je pro tuto práci klíčové.

Jak již bylo zmíněno, aplikace biocharu v krajině způsobuje řadu příznivých dopadů. Dle IBI lze tyto dopady kategorizovat do tří skupin, viz tabulka č. 12 níže.

**Tabulka 12** Příznivé dopady aplikace biocharu (International Biochar Initiative, 2018).

1) Environmentální dopady	Zdraví půdy	Biochar by měl udržovat a zvyšovat půdní úrodnost, především zemědělských degradovaných půd.
	Klimatická stabilita	Biochar by měl ukládat atmosférický uhlík v půdě.
	Energetická účinnost	Výroba biocharu by měla směřovat k čistému zisku energie (možnost využití vedlejších produktů výroby).
	Výchozí (vstupní) suroviny	Preferovanou vstupní surovinou by měly být zbytky.
	Výroba biocharu	Výroba by měla být bezpečná, čistá a hospodárná.
	Kvalita biocharu	Prokazuje stabilitu uhlíku.
	Biologická rozmanitost	Biochar by měl zlepšovat biodiverzitu, tím že zkvalitňuje ekologické podmínky pro biologickou rozmanitost.
Voda	Biochar by neměl znečišťovat ani degradovat vodní zdroje. A mělo by být zajištěno účinné využívání vodních zdrojů v souvislosti se zemědělskou produkcí.	
2) Sociální dopady	Zabezpečení potravin	Zde nebude ohrožena bezpečnost potravin, tím že nebude degradována půda.
	Místní komunita	Tento sociální dopad zapojí zúčastněné strany do respektování místních práv na využívání půdy.
	Informovanost	Informace týkající se biocharu by měly být průběžně vylepšovány a doplňovány.

3) Ekonomické dopady	Pracovní práva	System biocharu by měl zajistit spravedlivé pracovní postupy.
	Hospodářský rozvoj	System biocharu by měl přispět k ekonomickému rozvoji místních komunit, zejména v chudších regionech.

### Zajímavosti dopadů

Biochar může být velice prospěšný pro životní prostředí a naši krajinu, neboť:

- napomáhá ke snížení degradace půd,
- snižují se skleníkové plyny spojené s rozkladem a spalováním zbytků biomasy,
- jsou dodržována obvyklá práva na vodní zdroje,
- biochar by měl být používán ke snižování atmosférického uhlíku vytvářením a zlepšováním stabilních záchytů uhlíku v půdě (International Biochar Initiative, 2018).

### 5.1 Biochar a ochrana půdy

Praktické využití biocharu a jeho vlastnosti byly již popsány v předešlých kapitolách. Nicméně tato podkapitola sumarizuje informace týkající se biocharu, jakožto ochranného prvku půdy.

Z dostupných studií je patrné, že to, jak biochar chrání půdu, závisí zejména na určitém materiálu, hnojivu, a také na živinách, které jsou v půdě obsaženy. Už v dřívějších dobách se biochar přidával do půd, aby zkvalitnil jejich úrodnost. Například při typickém modelu žďárovém hospodaření v tropech (slash-and-burn/shifting cultivation), biochar napomáhá v zamezení vyčerpanosti půdy. Půda bez přidaného biocharu velmi rychle přichází o své živiny, a to v důsledku znamená rapidní snížení zemědělské produkce během krátké doby. Je zřejmé, že přidávání biocharu do půd přináší své benefity nejenom v tropickém pásu, ale i jinde ve světě. Pokud se přidává biochar do půdy, zdokonalí se vlastnosti půdy v mnoha ohledech. Kvůli jeho poréznosti je větší vlhkost v půdě, současně se půda i provzdušňuje a dovede vázat chemicky minerální látky. V neposlední řadě dokáže biochar držet mikroorganické osídlení v půdě (Ekologický institut Veronica, 2017).

## Využitelnost a prospěšnost pro životní prostředí

Využití biocharu se stále více rozvíjí. Prostudovaná literatura se především věnuje výhodám biocharu, ale z malé části se zaměřuje i na nevýhody jeho aplikace, které jsou uvedeny níže. Je zřejmé, že nevýhody biocharu je třeba ještě více prozkoumat a je nutná delší praxe. Biochar nemůže přinést negativa, pokud se uhlík používá k tomu, k čemu je přirozeně určen.

### Výhody biocharu

- Díky biocharu se dostává do ovzduší méně skleníkových plynů,
- neobsahuje toxické látky ani těžké kovy v nadlimitním množství,
- zachycuje důležité živiny a vodu v půdě,
- je ekologický, jelikož snižuje spotřebu vody, zrychluje růst plodin a snižuje používání umělých hnojiv,
- zvyšuje úrodnost půdy, a to na delší období,
- sekvestrace uhlíku,
- efektivní nakládání s odpady (NIREX, 2018).

**Obrázek 7** Výhody biocharu při aplikaci do půd (Biouhel s.r.o., 2018).



## **Nevýhody biocharu**

- Jelikož biochar mění povahu a vlastnosti půdy, může v některých případech být na škodu pro určité druhy rostlin (například pro druhy vyžadující kyselou půdu),
- biologický vliv se znečišťujícími látkami v půdě mohou být schopni tvořit riziko pro receptory mikroorganismů,
- je zapotřebí se více zaměřit na problematiku biocharu, především jeho vliv na zemědělské plodiny,
- konsekvence biocharu je nejednoznačná (Kuppusamy et al., 2016).

## **Účinné ozdravení znečištěných půd**

Biochar dokáže adsorbovat anorganické látky (ionty těžkých kovů), stejně tak i organické kontaminanty v půdě, čímž může přispívat k ozdravení znečištěných půd (Gembalová et al., 2016).

Tento fakt ovšem potvrzuje i odborná studie Břendová et al. (2014), která pojednává o remediaci půd. Sumarizuje znečišťující látky, u nichž byla pozorována sorbce na biochar. Konkrétně se jedná o organické polutanty a rizikové prvky (kadmium, měď, nikl a olovo).

I další studie prokazují tuto schopnost vázat na sebe látky, a to i těžké kovy, které se neodplavují ze struktury biocharu. Jestliže jsou půdy hodně znečištěné, provádí se karbonizace spolu s bioodpady. Termický proces probíhá tak, že se eliminují, nebo sloučí do pórů biocharu takřka jakékoliv škodlivé látky. Pokud se provozovala například důlní činnost při povrchové těžbě, tak i biochar byl v takovém případě velice prospěšný při zúrodnění půd. Přispívá tedy k lepšímu růstu rostlin a jejich kořenovému systému. U půd dochází k zesílení a k přírůstku hmoty nadzemních částí. Stejně tak značná retenční kapacita je účinná k tomu, že se z horních půd téměř nic nesplavuje a takřka nedochází k erozím. Odborná literatura uvádí, že pokud se biochar přidá na zúrodněné půdy, zlepšuje se výkonnost zadržetí až o 90–180 % ve srovnání s půdou bez použití biocharu (Biouhel s.r.o., 2018). Biochar se jeví příznivým v souvislosti s půdní mikroflórou a mikrofaunou. Například v případě mykorrhizních hub, které zvyšují nárůst kořenů rostlin, a tím zvyšují přístupnost fosforu. Pokud se přidává biochar do půdy, dělá se to hlavně z hlediska zlepšení fyzikálních a chemických

vlastností půd. Tyto vlastnosti poté vytvářejí vhodné klima. Jak bylo již v práci uvedeno, biochar je porézní, čímž napomáhá k tomu, že slouží jako ochrana pro mikroby v půdě. Navíc kvůli vynikajícím retenčním vlastnostem úspěšně zadržuje vodu a vytváří tak ideální prostředí pro mikroorganismy. V případě půdních enzymů, které jsou významné především pro katalyzování závažných reakcí a nutné pro reakci mikrobů, ustálení půdního složení, rozpad organických odpadů, a také pro cyklus živin. Udávají, jak na tom půda je, jak je výnosná a kvalitní. To je podmíněno druhem půdy a enzymu. Za podmínek mezofauny a makrofauny v půdě záleží na tom, jaké měly původní suroviny chemické složení, okolnostech výroby biocharu anebo druhu půdy, stejně jak tomu bylo u enzymů. Co se týče fyzikálních předpokladů půdy, ty se odvíjejí od fyzikálních vlastností, a to například rozsáhlá povrchová plocha, existence mikropórů, které mají vliv na již zmiňovanou povrchovou plochu, tím že jí potenciálně mění. Dále objemová hmotnost a pórovitost. Čerpané zdroje vypovídají o tom, že má biochar značný vliv na koloběh dusíku v půdě. To pro budoucnost přináší klady v tom, že se zlepší cyklus dusíku v přírodě (Záhora, 2016).

### **Jak chrání biochar půdu?**

Z výše uvedeného je zřejmé, že biochar znatelně prokazuje schopnost ochrany půdy, protože představuje určitý sorbent pro toxické látky, anorganické látky (těžké kovy), ale i organické kontaminanty. Právě tyto nežádoucí látky představují velkou míru rizika pro půdní prostředí.

## **5.2 Biochar a ochrana vody**

Biochar, jakožto ochranný prvek, může být prospěšný nejen v oblasti pedosféry, o čemž pojednává předešlá kapitola, ale i v oblasti hydrosféry. Právě tímto tématem se zabývá tato kapitola, tj. jakým způsobem biochar přispívá k ochraně vod.

Biochar se jeví jako univerzální sorbent nežádoucích látek ve vodním prostředí. Ovšem jeho účinnost není v určitých případech tak vysoká, jako je tomu v případě jiných, komerčně dostupných sorbentů. Právě proto se biochar během výroby (i po výrobním procesu) speciálně modifikuje, např. přidáním solí, které se mohou chovat jako nanočástice, nebo dokonce způsobit zmagnetování biocharu. Může se jednat o

aplikace acido katalyzátoru (kyselina citronová, kyselina sírová), bazického katalyzátoru (KOH) nebo také přidáním solí kovů (Gembalová et al., 2016).

Biochar zkvalitňuje vodu tím, že zachycuje živiny v půdě pro flóru. Z toho plyne, že potřebné živiny se zadržují v půdě, místo toho, aby se vyplavovaly do podzemních vod (International Biochar Initiative, 2018). Je velmi důležité zdůraznit, že biochar je mnohem bohatší na živiny, než třeba popel. Jelikož popel obsahuje jen alkálie (draslík, vápník, hořčík), tak již zmiňovaný biochar obsahuje navíc fosfor a síru. Tyto živiny přispívají k tomu, že vzhledem k jeho fixaci se nevyplavují, a tím nevzniká eutrofizace vod (Ekologický institut Veronica, 2017).

Je nutno podotknout, že zhruba 600 milionů lidí nedisponuje přístupem k pitné vodě. Pro dosažení šestého cíle pro udržitelný rozvoj, a to zajištění dostupnosti a udržitelného hospodaření s vodou a hygienu pro všechny do roku 2030), je zde prostor pro praktická řešení. Jelikož má biochar znamenitou schopnost odstraňovat kontaminanty z vodních zdrojů. V porovnání s ostatními metodami pro úpravu pitné vody, jako například písková filtrace, dezinfekce, chlorace či samotný bod varu, skrývá biochar několik výhod, které jsou:

1. dostupnost, finanční nenáročnost a obnovitelnost,
2. odstraňuje fyzikální, chemické i biologické kontaminanty,
3. zachovává organoleptické vlastnosti vody (Gwenzi et al., 2017).

Navíc biochar dokáže efektivně filtrovat městské odtoky, adsorbuje znečišťující látky a snižuje ztráty pesticidů (ovšem pouze za přítomnosti biocharu v kanalizaci anebo v městské zeleni). Dopady biocharu na kvalitu vody jsou ovlivněny především biopalivovými surovinami, teplotou pyrolýzy, množstvím aplikace, dobou po aplikaci a společnou aplikací s dalšími změnami. Z toho vyplývá, že biochar má velký potenciál ve snížení vodní eroze, ale je třeba více dat z terénu (Blanco-Canqui, 2018).

Co se týče biocharu s ohledem na kvalitu vody, tak byl proveden výzkum účinků biocharu v závislosti na vodní erozi, vyluhování dusičnanů a další zdroje znečištění vody. Dostupný článek z Ekologického institutu Veronica (2017), vypovídá o tom, že aplikace biocharu snižuje odtok o 5 až 50 %. Ztrátu půdy snižuje zhruba o 11 až 78 %,

to udává účinnost při snižování vodní erozi. Pokud se použije biochar společně například se zvířecím hnojem anebo kompostem, tak se jedná o efektivnější aplikaci při snižování vodní eroze, než je použití samotného biocharu. Hlavním mechanismem, kterým může biochar zredukovat vodní erozi působící na erodovatelnost půdy je zkvalitnění půdních vlastností, a to organický uhlík, hydraulická vodivost a stabilita kameniva.

### **Využití biocharu v praxi ČOV**

Dle Šťastného (2019) může mít biochar nové uplatnění v technologii dočišťování odpadních vod. Z článku vyplývá, že jde o výzkum diplomovaných a doktorandských prací. Tento výzkum je velmi příznivý a je objasněn níže.

V případě čištění odpadních vod (dále jen ČOV) je možné využít kal jako vstupní surovinu pro výrobu biocharu. Uvedením tohoto do praxe by se vyřešily záležitosti spojené s likvidací kalu. Biochar dále napomáhá při sanaci tzv. starých zátěží. Používá se zejména na někdejších dolech, bývalých skládkách či vojenských plochách. Oproti spalování, skládkování a kompostování popela je použití biocharu mnohem lepší řešení, jak zlikvidovat kal. Aby nedocházelo k vyplavování pesticidu do vod, je vhodné biochar vyrobený z čistírenských kalů použít jako ochrannou zábranu. A to tak, že u okrajů polí, vodních toků a nádrží se udělá 30-50 cm vrstva biocharu, a tím se odfiltrují pesticidy. Jelikož dokáže biochar zadržet pesticidy, hnojiva a zdokonaluje okysličování půdy, může být voda v přírodních nádržích zaopatřena také biocharem z kalů v ČOV. Na ČOV a v bioplynových stanicích se biochar může používat jako substrát a katalyzátor procesu vyrábění bioplynu tím, že se přidá jako příměs biomasy ve vyhnívání. Dle čerpaného zdroje dochází ke stálosti vzniklých kalů. Pokud dochází ke krátkodobému znečištění vody na stavbách anebo u turistických a kulturních událostí, které jsou úzce spjaty s přírodou. Může být biochar použit ve smyslu kompostovacích toalet. Ovšem je nutno zmínit, že takto vyrobený biochar by se musel nechat registrovat (Šťastný, 2019).

### **Jak chrání biochar vodu?**

Z této kapitoly vyplývá, že biochar chrání vodu tím, že kvůli jeho přítomnosti v půdě dokáže absorbovat nežádoucí látky, a tím zamezuje jejich transfer do spodních vod.



## Praktická část

Praktická část předkládané diplomové práce je zpracována formou popisu provedených polních testů. Které byly realizovány na konkrétní půdě, do níž byla aplikována směs biocharu, močůvky a vody. Obsahuje také kapitolu věnující se analýze výsledků odebraných vzorků nejprve z hlediska vybrané lokality a poté z hlediska připravované směsi. Praktická část si klade za cíl seznámit čtenáře s deskripcí daných polních testů.

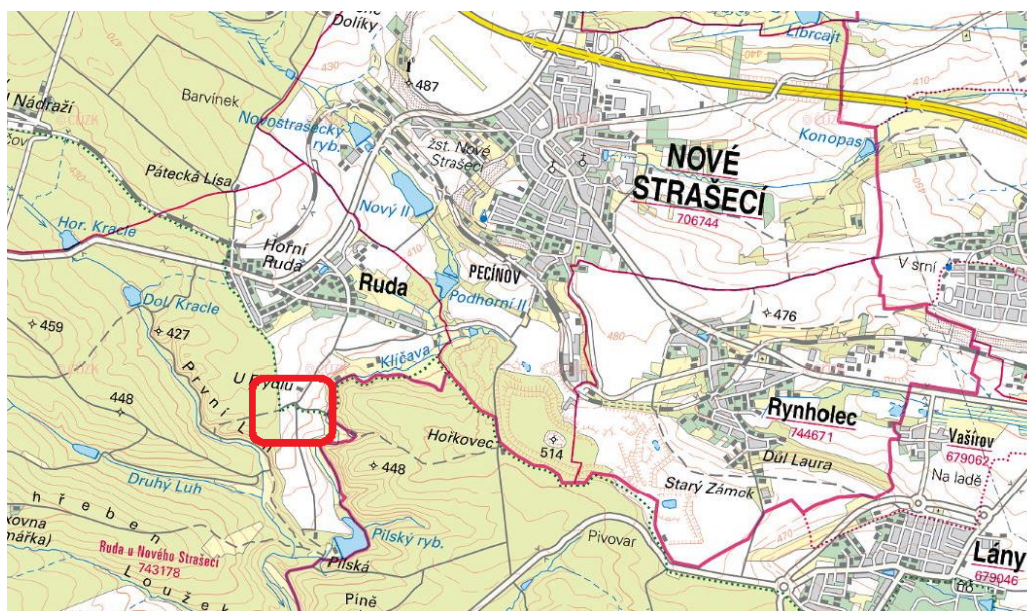
## 6 Polní testy

### 6.1 Základní údaje o polních testech

Pro provedení polních testů bylo nutné zvolit předem vhodnou lokalitu. Ta byla vybrána ve spolupráci s Ing. Martinem Křenkem ze Školního zemědělského statku Lány, a to konkrétně část zemědělské plochy vyznačená červenou barvou na obrázku č. 8.

Polní testy probíhaly během dvou měsíců, odběr vzorku byl proveden 11. 10. 2019, následoval příjem vzorku, a to dne 17. 10. 2019. Analýza byla ukončena 18. 11. 2019.

**Obrázek 8** Zvolená lokalita (ČÚZK, 2020).



Jedná se o vybranou část zemědělské plochy v katastrálním území Ruda u Nového Strašecí, DPB 1201/1, zobrazenou na detailním snímku z veřejného registru půdy (LPIS), obrázek č. 9 níže. Pozemek je o velikosti 2,17 ha a oficiálním uživatelem je Česká zemědělská univerzita v Praze. Je to zemědělská plocha definována jako standardní orná půda v režimu konvenčního hospodaření.

**Obrázek 9** Vyznačená plocha zemědělské půdy určená k provedení polních pokusů (LPIS, 2020).



## 6.2 Popis polních testů

Nejprve byly z výše uvedené lokality odebrané čtyři směsné vzorky ornice (svrchní části půdy 15 – 20 cm). Následně byly odebrané vzorky podrobeny zrnitostní analýze (VÚMOP, v. v. i.) a analýze chemického složení (Dekonta Ústí n. L.).

Pro aplikaci byla vybrána směs složená z: 5 m<sup>3</sup> biocharu, 12 m<sup>3</sup> močůvky a 3 m<sup>3</sup> vody. Promíchání směsi probíhalo svým specifickým průběhem v předem připravené jímce v objektu ŠZP v obci Ploskov. Nejdříve byly nasypany do jímky 3 m<sup>3</sup> biocharu přímo z přepravních „bigbagů“ (velkoobjemové přepravní vaky). Vzhledem k charakteru materiálu došlo k nahromadění biocharu pod násypovým otvorem, a tudíž nebylo možné přidat další materiál. Dále bylo napuštěno do jímky 12 m<sup>3</sup> močůvky, a tím se rozplavil již nahromaděný materiál pod násypovým otvorem. Vzhledem k odstraněnému materiálu bylo dále možné přidat dva zbylé „bigbasy“ biocharu. Pro jeho nízkou hustotu však větší část biocharu zůstala na hladině močůvky, kde utvořila souvislou několika centimetrovou vrstvu, čímž nedocházelo k žádoucímu smáčení.

Proto bylo nutné vzniklou směs promíchat proudem vody. Použití proudu vody bylo účinné, nicméně pro dokonalejší homogenizaci směsi bylo provedeno míchání za pomoci fekálního vozu vybaveného sacím čerpadlem. Polovina obsahu jímky byla nasáta do cisterny fekálního vozu a následně vypuštěna zpět do jímky. Tento proces byl zopakován i otvorem z druhém strany této podzemní jímky, a tím došlo k dokonalému promíchání směsi z obou stran jímky. Před samotnou aplikací na zemědělskou půdu byl z cisterny odebrán vzorek směsi. Dále byl celý obsah cisterny pomocí rozstříkovacího talíře aplikován na polovinu z celkové plochy pole. Všechny zmíněné dílčí kroky byly provedeny v následující časové souslednosti:

1. den – dávkování 3 m<sup>3</sup> biocharu do jímky,
2. den – napuštění 12 m<sup>3</sup> močůvky a přidání 2 m<sup>3</sup> biocharu,
3. den – promíchání celého obsahu jímky proudem vody (obsah vody: 3 m<sup>3</sup>),
4. den – míchání sacím čerpadlem a aplikace na pole.

Celý tento postup výroby směsi biocharu s močůvkou, i aplikace samotná, je doložen fotodokumentací, která je k nalezení v příloze této diplomové práce.

### **6.3 Použitý materiál**

Pro aplikaci biocharu na zemědělskou půdu bylo nutné tento relativně prašný materiál vhodně upravit. Zvolena byla možnost smísení biocharu s tekutou matricí z živočišné výroby s močůvkou, která je i samostatně používána na zemědělskou půdu jako statkové hnojivo. Zpočátku existovaly dvě alternativy, močůvka a tekutá část kejdy, která však nebyla na konci léta k dispozici.

#### **Biochar**

Biochar použitý pro polní pokusy pochází z produkce společnosti Energo Zlatá Olešnice s. r. o. (IČO 28702239; adresa společnosti: Zlatá Olešnice 534, 468 47 Zlatá Olešnice). Společnost poskytla o tomto materiálu důležité informace uvedené v tabulkách č. 13, 14 a 15.

**Tabulka 13** Složení biocharu zjištěné rentgenovou fluorescenční analýzou (XRF) (Dekonta a.s., 2019).

vlastnost, složka	jednotka	vzorek
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	hm. %	8,89
CaO	hm. %	32,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	hm. %	6,74
K <sub>2</sub> O	hm. %	6,69
MgO	hm. %	5,78
MnO	hm. %	1,20
Na <sub>2</sub> O	hm. %	4,49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	hm. %	2,21
SiO <sub>2</sub>	hm. %	20,9
TiO <sub>2</sub>	hm. %	2,93
suma	hm. %	92,5

**Tabulka 14** Souhrnné vlastnosti testovaného biocharu (Dekonta a.s., 2019).

vlastnost, veličina	jednotka	vzorek	EBC standard		ÚKZ-ÚZ
			základní	prémium	
sypná hmotnost	g·dm <sup>-3</sup>	166	deklarace		-
zdánlivá hustota, $\rho_{Hg}$	g·cm <sup>-3</sup>	0,48	-	-	-
skeletální hustota, $\rho_{He}$	g·cm <sup>-3</sup>	1,84	-	-	-
porozita, e	-	0,74	-	-	-
specifický povrch, $S_{BET}$	m <sup>2</sup> /g	444	deklarace, nejlépe > 150		-
specifický povrch mesopórů, $S_{meso}$	m <sup>2</sup> /g	142	-	-	-
specifický celkový objem pórů, $V_{tot}$	mm <sup>3</sup> <sub>liq</sub> /g	293	-	-	-
specifický objem mikropórů, $V_{micro}$	mm <sup>3</sup> <sub>liq</sub> /g	157	-	-	-
specifický intruzní objem, $V_{intr}$	cm <sup>3</sup> /g	1,18	-	-	-
pH		11,4	deklarace		-
vlhkost, W	% hm.	1,18	deklarace		-
popel, A <sup>d</sup>	% hm.	9,63	deklarace		-
prchavá hořlavina, V <sup>d</sup>	% hm.	2,71	deklarace		-

vlastnost, veličina	jednotka	vzorek	EBC standard		ÚKZ- ÚZ
			základní	prémium	
spalné teplo, $Q_s^d$	MJ.kg <sup>-1</sup>	30,0	-	-	-
výhřevnost, $Q_i^d$	MJ.kg <sup>-1</sup>	29,8	-	-	-
obsah uhlíku, $C^d$	% hm.	86,8	≥ 50 %		-
obsah organického uhlíku, $C_{org}^d$	% hm.	83,8	-	-	-
obsah vodíku, $H^d$	% hm.	0,626	-	-	-
obsah dusíku, $N^d$	% hm.	0,580	deklarace		-
obsah kyslíku, $O^d$	% hm.	2,37	-	-	-
H/C <sub>org</sub>	-	0,0074 7	H/C <sub>org</sub> < 0.7		-
O/C	-	0,0274	O/C < 0.4		-
obsah celkové síry, $S1^d$	% hm.	< 0.1	-	-	-
obsah spalitelné síry, $S2^d$	mg.kg <sup>-1</sup>	401	-	-	-
obsah chloru, $Cl^d$	mg.kg <sup>-1</sup>	867	-	-	-
obsah fluoru, $F^d$	mg.kg <sup>-1</sup>	11,4	-	-	-
Suma 12 PAH	mg kg <sup>-1</sup>	< 0,5	-	-	-
Suma 16 PAH	mg kg <sup>-1</sup>	< 0,5	< 12	< 4	< 20

**Tabulka 15** Obsah těžkých kovů a PAH v testovaném biocharu (Dekonta a.s., 2019).

složka	jednotka	měření 1	měření 2	měření 3	EBC standard		ÚKZ- ÚZ
					základní	prémium	
P	g/kg	0,720	0,591	0,623	deklarace		-
K	g/kg	3,59	3,09	2,77	deklarace		-
Ca	g/kg	12,9	17,2	19,8	deklarace		-
Mg	g/kg	2,43	2,41	3,63	deklarace		-
As	mg/kg	1,34	< 0.0555	< 0.0555	-	-	20
Cd	mg/kg	0,13	< 0.0530	< 0.0530	1,5	1	1
Cr	mg/kg	5,22	11,1	23,9	90	80	50
Cu	mg/kg	-	6,86	0	100	100	-
Hg	mg/kg	0,003	-	-	1	1	1
Ni	mg/kg	-	13,1	16,0	50	30	-
Pb	mg/kg	8,11	17,4	13,2	150	120	10

složka	jednot- -ka	měření 1	měře- ní 2	měře- ní 3	EBC standard		ÚKZ ÚZ
					základ ní	prémi um	
naftalen	mg/kg	< 0,05					
acenaften	mg/kg	< 0,2					
acenaftylen	mg/kg	< 0,2					
fluoren	mg/kg	< 0,05					
fenanthren	mg/kg	< 0,05					
anthracen	mg/kg	< 0,005					
fluoranthren	mg/kg	< 0,05					
pyren	mg/kg	< 0,1					
benzo(a)anthracen	mg/kg	< 0,05					
chrysen	mg/kg	< 0,005					
benzo(b)fluorant hen	mg/kg	< 0,05					
benzo(k)fluorant hen	mg/kg	< 0,02					
benzo(a)pyren	mg/kg	< 0,05					
benzo(g,h,i)pery len	mg/kg	< 0,1					
dibenzo(a,h)anth racen	mg/kg	< 0,1					
indeno(1,2,3- c,d)pyren	mg/kg	< 0,1					

## Močůvka

Použitá močůvka je zkvašená moč hospodářských zvířat, která je naředěná určitým množstvím vody. Patří do kategorie stájových hnojiv, avšak v současnosti nemá takové uplatnění. Močůvka má značně rozdílný obsah živin, kromě kterých obsahuje rostlinné růstové hormony, což v kombinaci přispívá k efektivnosti hnojiva samotného. Dusík je přítomen v močůvce především ve formě močoviny (Hlušek, 2004). Přibližné množství (včetně ostatních prvků) zpřehledňuje tabulka č. 16. Kde je zřejmé, že se vzrůstající kvalitou močůvky stoupá množství obsažených organických látek, včetně dusíku, fosforu a draslíku. Z tabulky je taktéž patrné, že toto platí i pro pH a sušinu.

**Tabulka 16** Procentuální zastoupení živin a organických látek v močůvce (Škarda, 1982).

<b>Kvalita močůvky</b>	<b>Sušina</b>	<b>Organické látky</b>	<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
nejvyšší kvalita	2,4	1,7	8,4	0,91	0,03	1,43	0,02	0,03
průměrná kvalita	1,4	1,0	7,8	0,23	0,01	0,33	stopy	0,01
nejnižší kvalita	0,8	0,5	7,2	0,05	stopy	0,10	stopy	stopy



## 7 Výsledky

### 7.1 Analýza odebraných vzorků z vybrané lokality

Následující tabulky zpřehledňují zrnitostní analýzu (tabulka č. 17) a chemický rozbor (tabulka č. 18) všech čtyřech odebraných směsných vzorků z dané lokality. V tabulce 16 měl vzorek č. 3 nejvyšší obsah oxidu uhlíku, oproti tomu nejnižší naměřená hodnota je u vzorku č. 4. Nejvyšší prokazatelné procentuální zastoupení je u zrnitosti < 0,05 mm (nejvyšší hodnota vz. č. 1, nejnižší hodnota vz. č. 3). Následuje zrnitost < 0,01 mm, kde nejvyšší hodnota je u vz. č. 4 a naopak nejnižší hodnota je u vz. č. 3.

**Tabulka 17** Výsledky zrnitostní analýzy vzorků ornice z vybrané lokality (VÚMOP, v. v. i., 2019).

		Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
<b>C<sub>ox</sub></b>	%	1,08	1,23	1,36	0,98
<b>Zrn. &lt; 0,001mm</b>	%	12,3	12,7	13,1	16,6
<b>Zrn. &lt; 0,01mm</b>	%	37,5	34,7	34,2	38,1
<b>Zrn. &lt; 0,05mm</b>	%	66,8	62,9	58,2	65,6
<b>Zrn. 0,01 - 0,05</b>	%	29,3	28,3	24	27,5
<b>Zrn. 0,05 - 0,25</b>	%	13,8	18,3	21,5	12,9
<b>Zrn. 0,25 - 2,0</b>	%	19,4	18,8	20,2	21,5

Průměrná naměřená procentuální hmotnost sušiny všech čtyř odebraných vzorků je 84,125 %. Všechny naměřené hodnoty pH se pohybují okolo neutrálních hodnot (v rozmezí 7,19 pH – 7,54 pH). Ostatní informace týkající se jednotlivých chemických prvků jsou v tabulce níže.

**Tabulka 18** Výsledky laboratorních stanovení vzorků ornice z vybrané lokality (Dekonta a.s., 2019).

		Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
<b>sušina</b>	hmot. %	84,1	82,8	84,4	85,2
<b>pH</b>	-	7,39	7,38	7,19	7,54
<b>vodivost</b>	mS/m	3,0	3,7	4,3	2,6
<b>P celkový</b>	mg/kg suš.	551	567	615	476

		Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
<b>B</b>	mg/kg suš.	15,1	13,4	14,7	18,6
<b>Mg</b>	mg/kg suš.	3 240	3 070	2 750	3 490
<b>Na</b>	mg/kg suš.	83,3	103	91,7	103
<b>K</b>	mg/kg suš.	5 130	4 730	4 130	4 890
<b>Ca</b>	mg/kg suš.	2 700	3 070	3 080	3 180
<b>S</b>	mg/kg suš.	189	230	231	184
<b>As</b>	mg/kg suš.	10,5	10,3	11,7	9,43
<b>Cd</b>	mg/kg suš.	0,14	0,30	0,33	0,12
<b>Cr<sub>celkový</sub></b>	mg/kg suš.	25,5	24,9	25,1	26,4
<b>Hg</b>	mg/kg suš.	0,086	0,088	0,054	0,066
<b>Ni</b>	mg/kg suš.	13,8	15,6	14,2	15,0
<b>Pb</b>	mg/kg suš.	27,9	29,0	29,8	27,7
<b>N<sub>celkový</sub></b>	mg/kg suš.	536	559	864	518
<b>TOC</b>	mg/kg suš.	11 090	12 690	13 270	9 030
<b>suma PAU(16)</b>	mg/kg suš.	2,20	0,79	0,52	0,21
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mg/kg suš.	70,6	114	71,4	114
<b>ztráta žiháním</b>	% suš.	4,46	4,94	4,42	4,47

## 7.2 Analýza odebraných vzorků z připravované směsi

Vzorek odebraný z cisterny (BC Pole Ruda) aplikovaný na zemědělskou plochu, dosáhl nejvyšší hodnoty pH (8,4) při 25 °C i konduktivity (8070  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). U všech odebraných vzorků proběhl ekotoxikologický test stanovení relativní inhibice *Sinapis alba* se stejným výsledkem, tj. 100 %. Ostatní hodnoty pro zbylé vzorky jsou zaneseny v tabulce č. 19.

**Tabulka 19** Stanovení relativní inhibice *Sinapis alba* (Dekonta a.s., 2019).

Označení vzorku	Matrice	pH (25 °C)	Konduktivita ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Rel. inhibice <i>Sinapis alba</i> (%)
BC Pole Ruda	Močůvka + biochar	8,4	8070	100
BC – M2	Močůvka s biocharem	8,1	8040	100
BC – M1	Biochar v močůvce	8,3	6550	100

Komentář k tabulce č. 19: BC – biochar, M – močůvka, BC Pole Ruda – vzorek z cisterny, M1 - Biochar v močůvce (směs s plovoucími kousky bez jakékoliv úpravy), M2 - Močůvka s biocharem („černá močka“, tzn. vzorek po odfiltrování pevné fáze).

Obsah celkového dusíku je nejvyšší v případě vzorku M2 a vzorek M1 dosahuje přibližných hodnot. Naopak celkový obsah fosforu je nejvyšší v močůvce, stejně jako obsah C:N. Celkový obsah draslíku dosahuje nejvyšších hodnotu ve vzorku M2. Tabulka č. 20 a tabulka č. 21 udává hodnoty ostatních chemických prvků obsažených v odebraných vzorcích.

**Tabulka 20** Stanovení N, P, K, Ca, Mg a poměru C:N (Dekonta a.s., 2019).

Parametr	Jednotky	M	M1	M2
pH	-	7,36		
Amoniakální dusík (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l	93,2	205	320
Dusičnanový dusík (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	<0,1	9,9	9,8
Dusitanový dusík (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	<0,05	6,6	<0,05
Dusík (N <sub>organický</sub> )	mg/l	602	625	524
Fosfor (P <sub>celkový</sub> )	mg/l	15,9	9,94	9,52
Draslík (K)	mg/l	1090	1050	1540
Vápník (Ca)	mg/l	66,2	51,7	108
Hořčík (Mg)	mg/l	74,2	91	120
Poměr C:N	-	0,849	0,532	0,588
DOC	mg/l	1180	902	1005
Dusík (N <sub>celkový</sub> )	mg/l	695	847	854

**Tabulka 21** Dodatečné stanovení N, P, K a poměru C:N ve zhomogenizovaném vzorku M1 (Dekonta a.s., 2019).

Parametr	Jednotky	M1
Sušina	%	20,6
Fosfor (P <sub>celkový</sub> )	mg/kg suš.	641
Draslík (K)	mg/kg suš.	4990
Dusík (N <sub>celkový</sub> )	% suš.	0,268
Spalitelné látky (550 °C)	% suš.	93,5
Poměr C:N	-	174

## 8 Diskuse

Biochar je předmětem výzkumu přibližně deset let. V současné době se problematikou biocharu zabývá většina vyspělých států. V České republice byla zahájena činnost biocharové platformy, která je vedena v rámci aktivit České zemědělské univerzity v Praze.

V této diplomové práci byl proveden polní pokus blízko obce Ruda u Nového Strašecí ležící v České republice, kde byla směs biocharu s močůvkou aplikována na zemědělskou půdu. Existují samozřejmě další studie, které mapují obdobně provedené polní pokusy, které budou v této kapitole popisovány.

Blackwell et al. (2009) ve své studii předkládá celou řadu proměnných, které v konečném důsledku ovlivňují zemědělský výnos na poli po aplikaci biocharu. Vyzdvihuje odlišné účinky biocharu samotného, jeho použití v kombinaci s hnojem, hnojivý či kompostem a v neposlední řadě i způsob aplikace může ovlivnit zemědělský výnos. International Biochar Initiative (2010) přináší výčet možností aplikace biocharu. Biochar je možné smíchat s pevnou frakcí či s tekutými hnojivý. Kombinovat biochar s pevnými hnojivý, jako je například hnůj, vápno či kompost, může zvýšit efektivnost dané aplikace a snížit počet vstupů na pole, neboť bylo prokázáno, že biochar absorbuje živiny a chrání je tak před vyluhováním. Tento fakt potvrzují i další studie, například Major (2009), Novak et al. (2009). Smícháním biocharu s tekutými hnojivý je možné dosáhnout požadovaných výsledků, například využitím močůvky. Takto smíchaný biochar může být do půdy přímo zapraven, nebo rovnoměrně smíchan s vrchní částí půdy. Při zapravení této směsi do půdy se využívají předem připravené jamky nebo brázdy, vytvořené manuálně či technikou. Po zapravení se jamky či brázdy zahrnují, čímž dojde i ke srovnání terénu. Biochar se pomocí toho nachází přímo u kořenových systémů rostlin – zemědělských plodin. Výhodou takto zapracované směsi biocharu je snížení možnosti větrné a vodní eroze. Další možností je aplikace biocharu přímo na půdní povrch. Aplikaci lze provést manuálně i mechanicky pomocí různých rozmetadel. Zde ovšem narůstá riziko eroze, ať už vodní či větrné. Právě pro tyto negativní vlivy je vhodné aplikovaný biochar smíchat s vrchní částí půdy, například pomocí diskových pluhů (Blackwell et al., 2009). Smíchání biocharu s vrchní částí půdy potvrzují i provedené polní pokusy

Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (2015, 2016), v nichž byl biochar zapraven do půdy pomocí rotačních bran.

Pro účely předkládané diplomové práce byl použit biochar v kombinaci s močůvkou, což utvořilo zhomogenizovanou směs. International Biochar Initiative (2010) označuje jako nejvýhodnější variantu jemný biochar (biochar obsahující menší částice), přispívající k dokonalejšímu promíchání směsi. Tento fakt ovšem potvrdila i příprava směsi v našem pokusu, při kterém zprvu nedošlo k dokonalému promíchání, právě kvůli použití biocharu, který obsahoval větší částice. Směs tedy musela být několikrát promíchána, aby bylo dosaženo správné homogenizace. Následovala aplikace přímo na povrch zemědělské půdy z cisterny pomocí rozstřikovacího talíře.

Na základě zjištěných výsledků je snadné porovnat obsahy základních živin v močůvce samotné se směsí obohacenou právě o biochar. V kapitole týkající se výsledků je rozlišena směs biocharu s plovoucími kousky na hladině a směs biocharu po odfiltrování pevné fáze, čímž vznikla tzv. „černá močka“. Při zhodnocení výsledků je možné pozorovat u obou směsí nárůst celkového obsahu dusíku v porovnání s močůvkou samotnou. Oproti tomu C:N je vyšší v případě močůvky (0,849), směs M1 dosáhla pouze 0,532 a směs M2 0,588.

Na dnešním trhu existuje celá řada hnojiv, která lze aplikovat na zemědělskou půdu. Jejich kompletní výčet je k nalezení v oficiálním registru hnojiv, jenž má ve správě Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), zřizován Ministerstvem zemědělství České republiky. Registrace hnojiv a pomocných látek se řídí zákonem o hnojivech, konkrétně § 3 zákona č. 156/1998 Sb. Vedení evidence hnojení je dnes nutností a je vyžadováno stejným zákonem (§ 9, odst. 5), podle vzoru ve vyhlášce č. 377/2013 Sb.

Všechna hnojiva je možné kategorizovat podle tří základních skupin: účinnosti, původu a skupenství. Dle zmíněného registru ÚKZÚZ (2020), používanými hnojivy v zemědělství je z dusíkatých hnojiv například močovina (46 %), ledek amonný (27 %) či dusičnan amonný (34 %). Tato hnojiva několikanásobně převyšuje celkový obsah dusíku směsi biocharu s močovinou s plovoucími kousky (847 mg/l) i směsi biocharu po odfiltrování pevné fáze (854 mg/l). Dále to jsou vícesložková minerální hnojiva obsahující určité zastoupení základních prvků N, P, K (např. 15 %, 15 %, 15

%). V případě testované směsi s plovoucími kousky se hodnoty těchto prvků pohybují okolo 847 mg/l N, 9,94 mg/l P, 1 050 mg/l K. Směs po odfiltrování pevné fáze okolo 854 mg/l N, 9,52 mg/l P, 1 540 mg/l K. Ze statkových hnojiv je to třeba chlévský hnůj, obsahující 1,7 % N, 0,8 % P, 1,8 % K. Při srovnání s biocharem samotným hodnoty celkového dusíku jsou 1,49 %, fosforu 17,0 % a draslíku 17,1 %.

Z toho hlediska není možné porovnávat průmyslová minerální hnojiva s biocharem, ať už samotným či v kombinaci s dalším statkovým hnojivem. Z předchozího odstavce je patrný výrazný rozdíl v zastoupení žádaných prvků N, P, K. Nicméně biochar, jakožto pomocná půdní látka, přináší vlastní pozitiva.

Budňáková (2018) upozorňuje na menší dávky statkových hnojiv dodávaných do půdy (pravděpodobně spojené s rapidní snížením stavů hospodářských zvířat), a také došlo ke snížení dávky organické hmoty dodávané na zemědělskou půdu. Dle odhadů se aplikuje průměrně 0,4 – 0,5 t organických látek na hektar orné půdy v České republice, což je přibližně o 1 – 1,5 t na hektar orné půdy méně oproti skutečné potřebě. Z toho vyvozeným důsledkem je pokles obsahu organické hmoty a s tím spojená degradace zemědělské půdy (eroze, nefungující vodní režim, silná utuženost půdy). Existují určitá řešení, která by tuto negativní bilanci organické hmoty řešila, jako například komposty, zelené hnojení, zadržování slámy atd.

Výše zmíněný fakt, týkající se současného stavu zemědělství, přináší obrovský prostor pro nová, organická hnojiva, která vyváží dnešní nedostatek organické hmoty v půdě. I z tohoto hlediska by právě biochar mohl najít své širší využití a zařadit se mezi běžně používaná hnojiva. Samozřejmě pro dosažení komplexních výsledků je zapotřebí dalšího zkoumání a důkladnějšího výzkumu.

## 9 Závěr

Jak již bylo zmíněno v úvodu, jedná se o velmi aktuální téma, vzhledem k tomu, že může pomoci v ochraně životního prostředí. Tato diplomová práce se zabývá v první řadě deskripcí biocharu. Tedy jeho detailním popisem formou rešerše, kde bylo charakterizováno terminologické vymezení, výroba, použití a zejména byly zmíněny jeho výhody, které jsou úzce spjaty s vodou a půdou. Biochar sám o sobě nelze považovat za nástroj ochrany vody a půdy, avšak jeho použití vhodným způsobem může vodu i půdu chránit, je ovšem nutno definovat, proti komu nebo proti čemu je třeba tyto základní přírodní prvky ochraňovat. V praktické části byl zrealizován výzkum. Jednalo se o stanovení výsledků provedených polních testů zaměřených na aplikaci směsi biocharu s močůvkou na zemědělskou půdu. Pro polní testy v podobném uspořádání by bylo potřeba použít nadrcený biochar, který by přispěl k daleko lepší homogenizaci výsledné směsi. To by mělo vyřešit problémy se zbytkovým biocharem zůstávajícím na hladině. Biochar jakožto organické hnojivo se nemůže rovnat jiným průmyslovým hnojivům, co se obsahu prvků týče. Nicméně v širším kontextu biochar přináší svá pozitiva, jež jsou popsány napříč touto prací. Biochar je vhodnou půdní látkou v zemědělství, neboť udržuje velké množství organické hmoty v půdě. Navíc vhodně transformuje biomasu v efektivní hnojivo. Stanovené cíle práce byly splněny. Hlavním cílem práce bylo popsat výsledky polních testů, zaměřených na aplikaci směsi biocharu s močůvkou na zemědělskou půdu, splnění tohoto cíle je patrné v praktické části. Dalším vytyčeným cílem bylo objasnit základní informace o biocharu, které jsou uvedeny v teoretické části práce. Posledním cílem bylo zjistit, zda může biochar fungovat jako nástroj pro ochranu vody a půdy. Tento fakt byl též objasněn.

Z práce vyplývá několik následujících zjištění:

- biochar je jemnozrnný porézní materiál, podobný dřevěnému uhlí. Zlepšuje úrodnost půdy a snižuje uvolňování CO<sub>2</sub> při procesech oxidace,
- klíčovým faktorem pro chemické a fyzikální vlastnosti biocharu je výrobní proces (pyrolýza) a vstupní materiál,
- biochar podporuje aktivitu celé řady zemědělsky důležitých mikroorganismů,

- biochar může výrazně přispět k ochraně životního prostředí, neboť působí jako sorbent nežádoucích látek (toxických látek, těžkých kovů a PAU) v půdním prostředí, ve kterém je schopný ovlivnit i prostředí vodní,
- biochar dokáže v půdě zadržovat živiny s vodou a zabraňuje vyčerpanost půdy,
- je natolik prospěšný v tom, že díky jeho výhodám urychluje růst rostlin a redukuje aplikování umělých hnojiv,
- biochar zabraňuje transferu kontaminantů do vodních zdrojů,
- napomáhá regulovat vodní erozi, snižuje ztráty pesticidů, vyplavování živin a v neposlední řadě i zápach.



## 10 Seznam použité literatury

### Odborné publikace

Ahmadvand, M., Soltani, J., Garmdareh S., Varavipour, M., 2018: The relationship between the characteristics of Biochar produced at different temperatures and its impact on the uptake of NO<sub>3</sub> - -N. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 5: 67–75.

Blackwell, P., Collins, M., Riethmuller, G., 2009: Biochar application to soil. In: Blackwell, P., Riethmuller, G.: *Biochar for environmental management - Science and Technology*. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

Blanco-Canqui, H., 2018: Biochar and Water Quality. *Journal of Environmental Quality* 48: 2-15.

Budňáková, M., 2018: Výživa rostlin a používání hnojiv v České republice. *Úroda* 4: 36 – 39.

Calabi-Floody, M., Medina, J., Rumpel, C., Condrón, L.M., Hernandez, M., Dumont, M., Mora, M., 2018: Smart Fertilizers as a Strategy for Sustainable Agriculture. *Advances in Agronomy*. ISSN 0065-2113.

Demirbas, A., 2014: Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 72: 243–248.

Downie, A., Crosky, A., Munroe, P., 2009: Physical Properties of Biochar. In: Lehmann, J., Joseph, S.: *Biochar for environmental management - Science and Technology*. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

El-Naggar, A., Lee, S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A., Zimmerman, A., Ahmad, M., Shaheen, S., Ok, Y., 2019: Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 337: 536-554.

FAO, 1983: Simple technologies for charcoal making. FAO Forestry paper, 41, Rome, 156 s. ISBN 92-5-101328-1.

Gwenzi, W., Chaukura N., Noubactep, C., Mukome, F., 2017: Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management* 197: 732 – 749.

Hale, L., Luth, M., Crowley, D., 2015: Biochar characteristics relate to its utility as an alternative soil inoculum carrier to peat and vermiculite. *Soil, Biology and Biochemistry* 81: 228–235.

Chan, K. Y., and Xu, Z. H., 2009: Physical Properties of Biochar. In: Lehmann, J., Joseph, S.: *Biochar for environmental management - Science and Technology*. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

Klusák, V., 2014: Biouhel, staronový pomocník při utváření úrodné půdy. *Agrospoj* č. 09: 32-36.

Křišťůfek, V., Diviš, J., Marečková, M., Kopecký, J., Pilsová, A., Klimešová, B. 2013. Vliv aplikace biouhlu na výskyt obecné strupovitosti brambor. *Úroda* 6: 28 – 32.

Krull, E., Baldock, J., Skjemstad, J., Smernik, R., 2009: Characteristics of Biochar: Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Naidu, R., 2016: Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: Current knowledge and future research directions. *Environment International* 87: 1-12.

Lehmann, J., Joseph, S., 2009: *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

Lehmann, J., Joseph, S., 2009: Biochar for Environmental Management - Science and Technology. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

Lhotský, J., 2000: Zhutňování půd a opatření proti němu. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha. ISBN: 80-7271-067-2.

Mahdi, Z., Hanandeh, A., Yu, Q., 2015: Date Palm (*Phoenix Dactylifera* L.) Seed Characterization for Biochar Preparation. 130 – 138.

Major, J., 2009. Biochar application to a Colombia savanna Oxisol: fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leaching and soil hydrology. Department of Crop and Soil Sciences. Cornell University, Ithaca NY, USA. 841 s.

Marsh, H., Rodríguez-Reinoso, F., 2006: Production and Reference Material. Activated Carbon, Elsevier Science, 554 s. ISBN 9780080444635.

Mensah, A., Frimpong, K., 2018: Biochar and/or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, and Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*.

Mukome, F., Zhang, X., Silva, L., Six, J., Parikh, S., 2013: Use of Chemical and Physical Characteristics To Investigate Trends in Biochar Feedstocks. *J Agric Food Chem*. 61: 2196–2204.

Neubaur, Y., 2013: Biomass gasification. *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering*. 106-129.

Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., Niandou, M.A.S., 2009: Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science* 174: 105-112.

Organo-chemical Properties. In: Lehmann, J., Joseph, S.: Biochar for environmental management - Science and Technology. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

Pokorný, E., Šarapatka, B., Hejátková, K., 2007: Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku - Metodická pomůcka. Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšť nad Oslavou. 28 s. ISBN: 80-903548-5-8.

Saranya, K., Santhana Krishnan, P., Kumutha, K., French, J., 2011: Potential for biochar as an alternate carrier to lignite for the preparation of biofertilizers in India. International Journal of Agriculture Environment. Biotechnol 4: 167–172.

Shaaban, M., Van Zwietenb, L., Bashir, S., Younas, A., Núñez-Delgado, A., Chhajro, M., Kubar, K., Ali, U., Rana, M., Mehmood, M., Hu, R., 2018: A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. Journal of Environmental Management 228: 429-440.

Schmidt, H., 2010: 55 Anwendungen von Pflanzenkohle. Journal für Terroirwein und Biodiversität. ISSN 1663-0521.

Spokas, K., Cantrell, K., NOVAK, J., 2012: Biochar: A Synthesis of Its Agronomic Impact beyond Carbon Sequestration. Journal of Environment Quality 41: 973-982. ISSN 0047-2425.

Stupavský, V., 2008: Kapalná biopaliva – cíle a perspektivy. Biom.cz. ISSN: 1801-2655.

Škarda, M., 1982: Hospodaření s organickými hnojivy. SZN Praha, 328 s. ISBN: 07-109-82.

Šťastný, V., 2019: Biouhel – nová perspektiva v technologii dočišťování odpadních vod, nebo slepá ulička? Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 61: 40–43. ISSN 0322-8916.

Tan, Z., Lin, C. S. K., Ji, X., Rainey, T. J., 2017: Returning biochar to fields: A review. *Applied Soil Ecology* 116: 1–11.

Thies, J., Rillig M., 2009: Characteristics of Biochar: Biological Properties. In: Lehmann, J., Joseph, S.: *Biochar for environmental management- Science and Technology*. MapSet Ltd, Gateshead, United Kingdom. 438 s. ISBN: 978-1-84407-658-1.

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., van der Velde, M., Diafas, I., 2010: *Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability. ISBN 978-92-79-14293.

### **Internetové zdroje**

Biogreen, 2018: Pyrolysis – definition - A new way to bring value to materials (online) [cit. 2019-10-25], dostupné z <http://www.biogreen-energy.com/what-is-pyrolysis/>.

Biouhel s.r.o., 2017: Biouhel (online) [cit. 2019-10-15], dostupné z <http://biouhel.cz/>.

Biouhel s.r.o., 2018: Biouhel je řešení (online) [cit. 2019-11-21], dostupné z <http://biouhel.cz/wp-content/uploads/2018/02/Biouhel-je-Reseni-VS5.pdf>.

Brick, S., 2010: *Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy* (online). [cit. 2020-3-20], dostupné z [http://www.nrdc.org/energy/files/biochar\\_paper.pdf](http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf).

Břendová, K., Tlustoš, P., Száková, J., Bohuněk, M., 2014: Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností (online) [cit. 2020-2-27], dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>.

CPGA, 2018: Co je zplyňování a pyrolýza (online) [cit. 2019-10-25], dostupné z <http://www.cpga.cz/#cojezplynovani>.

Dhungana, A., 2011: Torrefaction of biomass (online) [cit. 2019-12-15], dostupné z <https://dalspace.library.dal.ca/handle/10222/14236>.

E-chembook, 2018: Uhlí, ropa a zemní plyn (online) [cit. 2019-11-21], dostupné z <http://e-chembook.eu/uhli-ropa-a-zemni-plyn>.

Ekologický institut Veronica, 2017: Biochar (online) [cit. 2019-10-15], dostupné z <https://www.veronica.cz/biouhel>.

Farm Energy, 2019: Biochar: Prospects of Commercialization (online) [cit. 2020-2-25], dostupné z <https://farm-energy.extension.org/biochar-prospects-of-commercialization/#How%20is%20Biochar%20Currently%20Being%20Produced%20and%20Used?>.

Gembalová, L., Klouda, K., Roupcová, P., Rusín, J., Pryszcz, A., Weisheitelová, M., 2016: Biochar - ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí Energy (online) [cit. 2020-2-5], dostupné z <https://biouhel.cz/wp-content/uploads/2016/03/Biochar1-SUJB.pdf>.

Hlušek, J., 2004: Statková hnojiva - močůvka (online) [cit. 2020-3-18], dostupné z [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/mocuvka.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/mocuvka.htm).

Hunt, J., DunPonte, M., Sato, D., Kawabata, A., ©2010: The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment (online) [cit. 2019-12-15], dostupné z <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/SCM-30.pdf>.

International Biochar Initiative, ©2010: Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems (online) [cit. 2020-2-15], dostupné z [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI\\_Biochar\\_Application.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Application.pdf).

International Biochar Initiative, ©2018: Biochar Is a Valuable Soil Amendment (online) [cit. 2019-10-10], dostupné z <https://biochar-international.org/biochar/>.

International Biochar Initiative, ©2018: Biochar technology (online) [cit. 2019-10-19], dostupné z <https://biochar-international.org/biochar-technology/>.

Kočí, V., Rakovický, T., Švagr, A., 2001: Test semichronické toxicity se semeny *Sinapis alba* (online) [cit. 2020-2-15], dostupné z <http://ekotoxikologie.sweb.cz/toxlab/vyuka/sinapis.htm>.

Mitchell, D., Elder, T., 2010: Torrefaction? What's that? (online) [cit. 2019-12-15], dostupné z [https://www.srs.fs.fed.us/pubs/ja/2010/ja\\_2010\\_mitchell\\_001.pdf](https://www.srs.fs.fed.us/pubs/ja/2010/ja_2010_mitchell_001.pdf).

NIREX, 2018: Biouhel (online) [cit. 2019-11-21], dostupné z <https://www.biouhli.com/produkty/biouhli/>.

Terra Humana Ltd., ©2014: Reducing mineral fertilisers and chemicals use in agriculture by recycling treated organic waste as compost and bio-char products (online) [cit. 2020-2-22], dostupné z [https://cordis.europa.eu/docs/results/289/289785/final1-refertil\\_289785\\_final\\_report.pdf](https://cordis.europa.eu/docs/results/289/289785/final1-refertil_289785_final_report.pdf).

ÚKZÚZ, ©2020: Veřejný registr hnojiv (online) [cit. 2020-3-18], dostupné z <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/hnojiva/registr-hnojiv.html>.

Yadav, K., Jagadevan, S., 2019: Influence of Process Parameters on Synthesis of Biochar by Pyrolysis of Biomass: An Alternative Source of Energy (online) [cit. 2020-1-5], dostupné z <https://www.intechopen.com/books/recent-advances-in-pyrolysis/influence-of-process-parameters-on-synthesis-of-biochar-by-pyrolysis-of-biomass-an-alternative-sourc>.

Záhora, J., 2016: Biouhel a organika v půdě (online) [cit. 2019-3-28], dostupné z <https://biouhel.cz/?p=565>.

## Ostatní zdroje

Brewer, C., 2012: Biochar characterization and engineering. Iowa State University, Ames, Iowa. 196 p. (dissertation) „published“. Iowa State University Digital Repository, Graduate Theses and Dissertation. 12284.

Heliová, K., 2016: Ekotoxikologické hodnocení biouhlu. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Ostrava. 56 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. DSpace VŠB-TUO.

Kotzurová, I. 2019. Ekotoxikologické posouzení biouhlu z čistírenského kalu. Vysoké učení technické v Brně, Chemická fakulta, Brno 64 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. UCHTOŽP.



## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> Specifická povrchová plocha a objem pórů biocharu (Lane et al., 1991). .....	10
<b>Tabulka 2</b> Objemové hmotnosti půd dle druhu (Lhotský, 2000). .....	12
<b>Tabulka 3</b> Objemové hmotnosti biocharu, vyrobeného ze semen datlovníku pravého (Phoenix dactylifera L.) při rozdílných výrobních teplotách (Mahdi et al., 2015). ...	12
<b>Tabulka 4</b> Relativní poměr čtyř hlavních složek biocharu (Verheijen et al., 2010). 14	
<b>Tabulka 5</b> Zvolené prvky v odlišných typech biocharu, připravené při 500 °C (Stupavský, 2008; Tan et al., 2017). .....	14
<b>Tabulka 6</b> Výčet teoretických možností využití biocharu (Schmidt, 2010). .....	15
<b>Tabulka 7</b> Srovnání chemických vlastností biocharu s kompostem (Mensah & Frimpong, 2018). .....	18
<b>Tabulka 8</b> Typy pyrolýzy (Tan et al., 2017). .....	20
<b>Tabulka 9</b> Vliv pyrolýzní teploty na vlastnosti výsledného produktu (El-Naggar et al., 2019). .....	20
<b>Tabulka 10</b> Vliv výrobních teplot na základní složení biocharu z různých surovin (Shaaban et al., 2018). .....	21
<b>Tabulka 11</b> Vliv aplikace biocharu na různé vlastnosti půdy (El-Naggar et al., 2019). .....	22
<b>Tabulka 12</b> Příznivé dopady aplikace biocharu (International Biochar Initiative, 2018). .....	31
<b>Tabulka 13</b> Složení biocharu zjištěné rentgenovou fluorescenční analýzou (XRF) (Dekonta a.s., 2019). .....	42
<b>Tabulka 14</b> Souhrnné vlastnosti testovaného biocharu (Dekonta a.s., 2019). .....	42
<b>Tabulka 15</b> Obsah těžkých kovů a PAH v testovaném biocharu (Dekonta a.s., 2019). .....	43
<b>Tabulka 16</b> Procentuální zastoupení živin a organických látek v močůvce (Škarda, 1982). .....	45
<b>Tabulka 17</b> Výsledky zrnitostní analýzy vzorků ornice z vybrané lokality (VÚMOP, v. v. i., 2019). .....	46
<b>Tabulka 18</b> Výsledky laboratorních stanovení vzorků ornice z vybrané lokality (Dekonta a.s., 2019). .....	46
<b>Tabulka 19</b> Stanovení relativní inhibice Sinapis alba (Dekonta a.s., 2019). .....	47

<b>Tabulka 20</b> Stanovení N, P, K, Ca, Mg a poměru C:N (Dekonta a.s., 2019).....	48
<b>Tabulka 21</b> Dodatečné stanovení N, P, K a poměru C:N ve zhomogenizovaném vzorku M1 (Dekonta a.s., 2019).....	48

## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b> Biochar (Deep Roots Project, 2017).....	7
<b>Obrázek 2</b> Neúrodná půda v porovnání s Terra Preta (International Biochar Initiative, 2018).....	8
<b>Obrázek 3</b> Mikroskopická pórovitost biocharu (Lehmann et al., 2009).....	10
<b>Obrázek 4</b> Mikroskopická pórovitost biocharu (Lehmann et al., 2009).....	11
<b>Obrázek 5</b> Možné vstupní suroviny (International Biochar Initiative, 2018).....	29
<b>Obrázek 6</b> Proces produkce biocharu od vstupních surovin, až po případné využití v praxi (Lehmann et al., 2009). ....	29
<b>Obrázek 7</b> Výhody biocharu při aplikaci do půd (Biouhel s.r.o., 2018). ....	33
<b>Obrázek 8</b> Zvolená lokalita (ČÚZK, 2020). ....	39
<b>Obrázek 9</b> Vyznačená plocha zemědělské půdy určená k provedení polních pokusů (LPIS, 2020).....	40

## Přílohy

**Příloha 1:** Nasypání biocharu z přepravního vaku do předem připravené podzemní jímky (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 2:** Násypový otvor jímky zaplněný třemi přepravními vaky biocharu (Dekonta a.s., 2019).





**Příloha 3:** Napouštění močůvky (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 4:** Plovoucí vrstva biocharu na hladině močůvky (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 5:** Míchání proudem vody (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 6:** Míchání proudem vody (Dekonta a.s., 2019).





**Příloha 7:** Obsah jímky po míchání proudem vody (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 8:** Míchání sacím čerpadlem (Dekonta a.s., 2019).





**Příloha 9:** Otvor na druhé straně podzemní jímky (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 10:** Míchání sacím čerpadlem z druhé strany jímky (Dekonta a.s., 2019).





**Příloha 11:** Směs biocharu a močůvky po míchání sacím čerpadlem (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 12:** Odběr vzorku směsi z cisterny (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 13:** Rozstříkovací talíř (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 14:** Aplikace na zemědělskou půdu (Dekonta a.s., 2019).





**Příloha 15:** Aplikace na zemědělskou půdu (Dekonta a.s., 2019).



**Příloha 16:** Polovina ošetřeného pole (Dekonta a.s., 2019).

